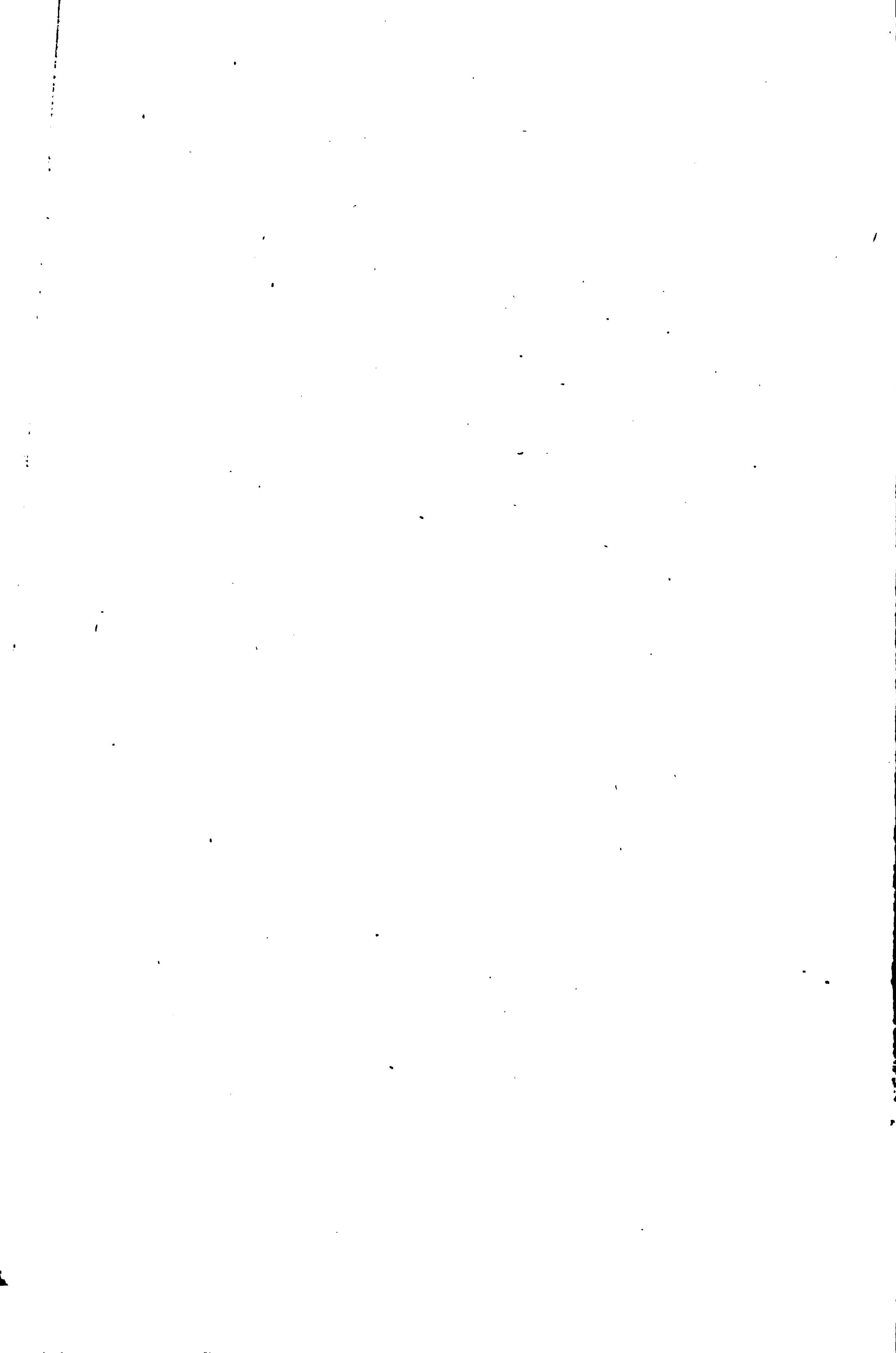




Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Breslau und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.

Heft 1.

Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen

von

Dr. J. Stark,
Privatdozenten an der Universität Göttingen.



Leipzig 1904.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. M. —.80.
Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. M. 1.20.
Heft 3: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel.
Heft 4: **Die Ionen-Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. L. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in **Breslau.**

Jährlich 12 Hefte. * Abonnementspreis Mk. 12.—.

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

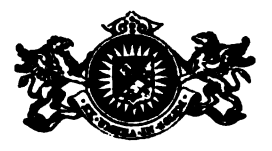
Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

Heft 1.

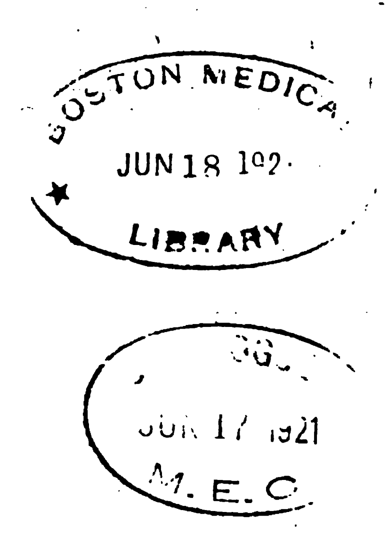
Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen

von

Dr. J. Stark,
Privatdozenten an der Universität Göttingen.



Leipzig 1904.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

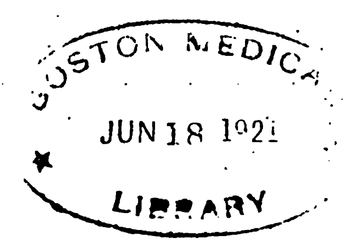


Sonderabdruck
aus der Zeitschrift für Elektrotherapie und die physikalischen Heilmethoden, herausgegeben von
* * * Dr. Hans Kurella in Breslau. * * *

Inhalts-Verzeichnis.

I. Kathodenstrahlen.

II. Röntgenstrahlen.



I. Kathodenstrahlen.

§ 1.

Einleitung.

Manchem Nichtphysiker begegnen in der Praxis die Röntgenstrahlen, mancher Arzt macht von ihrer durchleuchtenden Wirkung Gebrauch. Wer sich nicht mit der äusseren Betrachtung einer Erscheinung begnügt, wer den Mechanismus des physikalischen Vorganges, den er handhabt, auch verstehen will, der wird auch bei den Röntgenstrahlen nach ihrem Wesen, nach ihrem Unterschied von den gewöhnlichen Lichtstrahlen fragen.

Wenn neue Ideen von prinzipieller Bedeutung in einer Wissenschaft eingeführt werden, so beansprucht schon die Überwindung der bis dahin üblichen Vorstellungen innerhalb des Faches in der Regel eine nicht unbeträchtliche Zeit. Wie eine grosse Masse schweren Stoffes unter der Wirkung einer Kraft aus dem Zustand der Ruhe heraus nicht unvermittelt schnell eine grosse Geschwindigkeit annehmen kann, so können neue Ideen auch nur allmählich die Zustimmung einer grossen Zahl von Köpfen finden. Und erst wenn innerhalb des Faches die neuen Ideen allgemeine Anerkennung gefunden haben, so können sie durch Vermittlung der Schule und populärer Darstellungen weiteren Kreisen vertraut werden. Was die Väter nicht verstehen konnten, was nur in abgebrochenen Stücken aus der Ferne zu ihnen herüberklang, das lernen im wissenschaftlichen Leben so häufig dann die Söhne von Jugend auf aus der Nähe kennen.

Das Zusammenwirken von Experiment und Theorie hat in den letzten sieben Jahren eine neue Epoche in der Physik heraufgeführt; ins Zentrum dieser Wissenschaft hat sich die Elektromagnetik geschoben, das Elektrizitätsteilchen kämpft mit dem Massenteilchen um die Führerschaft in der Physik und damit in der gesamten Naturwissenschaft. Die Entdeckung der Röntgenstrahlen war der Böllerschuss, der die neue Epoche einleitete, der auch die physikalische Aussenwelt für einen Moment

überrascht aufhorchen liess. Auf der physikalischen Bühne selbst traten freilich die Röntgenstrahlen bald in den Hintergrund und machten vor einem zunächst kleinen rein physikalischen Publikum dem Träger der Hauptrolle Platz, dem negativen Elektron, das als Kathodenstrahl der Erzeuger der Röntgenstrahlen ist.

§ 2.

Masse, Elektrizität.

Die Beschleunigung a wird definiert als die Geschwindigkeitsänderung in der Zeiteinheit, Kraft K nennen wir die Ursache einer Geschwindigkeitsänderung, wir setzen sie proportional der Beschleunigung, also $K = m \cdot a$, wo m ein Proportionalitätsfaktor, ein Koëffizient ist. Diesen Koëffizienten nun nennen wir die Masse desjenigen Körpers, auf den Kraft wirkt, an dem die Geschwindigkeitsänderung wahrnehmbar ist. Wir haben in der Erfahrung verschiedene Kräfte, beispielsweise die Schwerkraft, wir können einen gewissen Wert dieser Kraft als Einheit für die Messung von Kräften festsetzen, wir können ausserdem die Geschwindigkeitsänderung von 1 cm in 1 sec als Einheit der Beschleunigung festsetzen. Wir können dann auch das Verhältnis von Kraft zur Beschleunigung, jenen Beschleunigungskoëffizienten, die Masse, messen.

Die menschliche Erfahrung hat nun bis jetzt ergeben, dass die Beschleunigungskoëffizienten in den bis jetzt untersuchten Grenzen der Geschwindigkeit unabhängig sind von dem Zustand der Körper und ihrer räumlichen Anordnung. Zu dem Satz von der Konstanz der Masse gesellte sich die Erfahrung von ihrer physikalischen Teilbarkeit und der Konstanz der chemischen Eigenschaften. So bildete sich die Vorstellung von unveränderlichen Individuen der Masse, von den chemischen Atomen. Der Masse und ihren Atomen wurde eine primäre, unveränderliche Existenz in der Welt zugeschrieben, aus einer Bewegung von Massenteilchen glaubte man mechanistisch die ganze Welt herleiten zu können.

Man vergisst heutzutage häufig, dass der Begriff der Masse lediglich durch Definition aus anderen physikalischen Grössen hergeleitet ist, dass die Masse in der Erscheinungswelt als Beschleunigungskoëffizient nur insofern existiert, als ein gewisses Etwas eine Änderung seiner Geschwindigkeit erfährt. Der dogmatischen Autorität der Masse kommt dabei zu Hilfe, dass wir die Erfahrung unseres Tastsinnes von der Raumerfüllung der Körper mit der Vorstellung der Masse verbinden; dadurch gewinnt diese eine hypnotisierende Macht über uns, von der

wir uns kaum emanzipieren können. Ein jeder ist fest überzeugt, dass er sich die Masse eines Atoms als raumerfüllend und undurchdringlich bestimmt und klar vorstellen kann. In Wirklichkeit definiert aber auch unser Tastsinn die Masse lediglich als das Verhältnis von Kraft zur Beschleunigung. Bringen wir mit unserer Muskelkraft an zwei Körpern gleich grosse Geschwindigkeitsänderungen hervor, so schreiben wir demjenigen die grössere Masse zu, auf den wir eine grössere Kraft wirken lassen müssen, von dem wir den grösseren Gegendruck erfahren.

Die Physik hat nun nach langem Ringen im quantitativen Experiment ein in der Welt real existierendes Etwas aufgefunden, das der letzte elementare Träger der natürlichen Erscheinungen, das, zusammen mit der Energie, zur obersten Regierung in der Naturwissenschaft berufen zu sein scheint. Es ist dies die Elektrizität. Wir haben sie uns als ein Etwas vorzustellen, das im Raume existiert. Die Erfahrung hat zwei Elektrizitätsarten von entgegengesetzten Eigenschaften festgestellt, sie hat gefunden, dass Elektrizitätsmengen durch die Kräfte sich vergleichen lassen, die von ihnen ausgehen. Die Elektrizität kann in ihrer Menge durch menschliche Mittel nicht verändert werden, nur scheinbar kann eine Elektrizitätsmenge für die Mittel menschlicher Wahrnehmung zum Verschwinden gebracht werden, indem man sie mit einer entgegengesetzt gleich grossen Elektrizitätsmenge mischt. Nicht wie die Masse existiert die Elektrizität erst dann, wenn Beschleunigung vorhanden ist, nein auch im unbeschleunigten Zustand machen elektrische Ladungen durch ihre wechselseitige Kraftwirkung ihre Existenz kund. Elektrische Ladungen können Geschwindigkeitsänderungen oder Beschleunigungen unter der Wirkung der von ihnen ausgehenden Kräfte erfahren. Demgemäss muss dann ein Verhältnis zwischen Kraft und Beschleunigung sich herstellen; elektrische Ladungen müssen demgemäss einen Beschleunigungskoëffizienten oder eine Masse besitzen. Der eigentliche Träger der Erscheinung, der Bewegung ist die Elektrizität; ihr Beschleunigungskoëffizient, ihre Masse ist eine für ihre Geschwindigkeitsänderung charakteristische Grösse. Unter diesem Gesichtspunkt ist die Masse eine Eigenschaft des elektrischen Teilchens, sie hängt ab von der räumlichen Verteilung der elektrischen Ladung.

Eine der Kräfte, welche einem Körper eine Beschleunigung erteilen kann, ist die Schwerkraft. Vergessend die Definition der Masse als blossen Beschleunigungskoëffizienten, suchte man ohne viele Kritik den Sitz der Schwerkraft in der Masse selbst. Schwierigkeiten machte die Erklärung der Fernwirkung, solange man zwischen den diskreten Massenteilchen den absolut leeren Raum gähnen liess, nur wenig verminderte sich diese Schwierigkeit bei Einführung eines Zwischenmediums, des Äthers.

Die elektrische Ladung dagegen ist mit dem Zwischenmedium in bestimmter Weise durch Kräfte verkettet. In ihrer Umgebung, ihrem elektromagnetischen Energie- oder Kraftfeld, herrscht eine bestimmte Verteilung elektrischer und magnetischer Kraft. Elektrische Ladungen wirken aufeinander durch ihre in die Ferne sich erstreckenden Kraftfelder. Der Versuch, die Schwerkraft als eine Äusserung elektromagnetischer Kraft zu erklären, erscheint heute nicht mehr aussichtslos.

§ 3.

Elektron, Atom, Jon.

Neben dem Satz von der Konstanz der Elektrizität ergab die Erfahrung, dass eine elektrische Ladung physikalisch teilbar ist. Doch lässt sich die physikalische Teilung einer Elektrizitätsmenge nicht beliebig weit treiben; sie muss bis jetzt schliesslich Halt machen vor einer gewissen kleinsten Menge von Elektrizität, ihrem sogenannten Elementarquantum. Dieses heisst auch Elektron, für sich allein betrachtet, ohne Zugabe anderer positiver und negativer Elementarquanten. Die elektrische Ladung des Elektrons, das Elementarquantum, ist sowohl auf theoretischem, wie auf experimentellem Wege bestimmt worden, sein Wert beträgt $3{,}1 \cdot 10^{-10}$ elektrostatische Einheiten. Eine jede elektrische Ladung ist ein Vielfaches des Elementarquantums; kommen an den Teilchen eines Körpers elektrische Ladungen verschiedener Grösse vor, so variieren diese nicht kontinuierlich, sondern sprungweise wie die ganzen Zahlen.

Die elektrische Theorie der chemischen Atome stellt sich das einzelne chemische Atom vor als zusammengesetzt aus einzelnen von einander trennbaren positiven und negativen Elektronen, als ein System gleich vieler positiver und negativer Elektronen, die durch wechselseitige Kräfte in stabilem Gleichgewicht gehalten werden. Da im neutralen Atom gleichviele positive und negative Elektronen sind, so verhält sich das Atom in Entfernungen, welche gross sind, gegen seinen Durchmesser, wie wenn in ihm überhaupt keine elektrische Ladung vorhanden wäre; seine Gesamtladung ist Null. Da eine verschiedene Anzahl von positiven und negativen Elektronen zu verschiedenartigen Gleichgewichtssystemen zusammentreten kann, so sind verschiedene Arten chemischer Atome möglich. Auch ist der Fall möglich, dass die Atome eines bestimmten chemischen Elementes zerfallen und unter Entbindung von Energie in Atome anderer Art sich verwandeln. In der Radioaktivität gewisser chemischer Elemente haben wir in der Tat eine derartige Verwandlung.

Von einem neutralen chemischen Atom kann ein negatives Elektron losgetrennt werden; der Atomrest bleibt dann mit einem positiven

Elementarquantum beladen zurück. Ein positives oder negatives Elementarquantum, das frei für sich allein, ohne eine entgegengesetzt gleich grosse Ladung mitzunehmen, bewegt werden kann, heisst ein Jon. Insofern die Lostrennung negativer Elektronen von neutralen Atomen positive und negative Jonen schafft, heisst sie Jonisierung.

Der Beschleunigungskoëffizient der Jonen oder ihre Masse kann verschieden gross sein; das Jon kann ein freies negatives Elektron für sich allein sein, das nicht mit fremder Masse beladen ist; es heisst dann Elektronjon. Das Elementarquantum des Jons kann aber auch mit der fremden Masse des Atomrestes, der Komponente einer chemischen Verbindung oder mit mehreren Molekülen behaftet sein; in diesem Falle spricht man von Atom- oder Moljonen.

§ 4.
Kinetische Energie des Jons aus frei durchlaufener Spannungsdifferenz, der elektrische Strahl.

Überlassen wir einen Körper im Felde der Gravitationsenergie, der Schwerkraft der Erde, sich selbst, so wird er in Bewegung gesetzt, er bewegt sich von einer Niveaufläche grösserer potentieller Gravitationsenergie S_1 nach einer Niveaufläche S_2 kleinerer Energie. Er durchläuft eine Differenz $\triangle S = S_1 - S_2$ potentieller Gravitationsenergie. Ist der Beschleunigungskoëffizient oder die Masse des Körpers m, so ist die an ihm geleistete Arbeit der Schwerkraft $m \cdot \triangle S = m \cdot (S_1 - S_2)$. Diese an dem fallenden Körper geleistete Arbeit verwandelt sich in kinetische Energie des Körpers.

Nun sind zwei Fälle möglich. Der Körper kann erstens von der Höhe h_1 in die Höhe h_2 fallen, ohne auf seinem Wege kinetische Energie an umgebende Körper durch Stoss abzugeben. So können wir den Körper von einem Turm aussen durch die Luft fallen lassen; er durchläuft dann die Niveaudifferenz $\triangle S$ frei ohne Zusammenstoss. In diesem Falle speichert sich die Energie $m \cdot \triangle S$ in dem Körper in kinetischer Form auf. Die kinetische Energie, welche er in der Höhe h_2, also beim Aufschlagen auf den Boden besitzt, ist der frei durchlaufenen Niveaudifferenz $m \cdot \triangle S$ gleich; sie lässt sich mit Hilfe des Beschleunigungskoëffizienten m darstellen. Ist nämlich die Endgeschwindigkeit in der Höhe h_2 gleich v_0, so ist die kinetische Energie $\frac{1}{2} m \cdot v_0^2 = m \cdot \triangle S$.

Der zweite Fall besteht darin, dass unser Körper nicht frei vom Turme fällt, sondern auf seinem Wege kinetische Energie abgibt, beispielsweise indem er die Wendeltreppe hinabrollt, von Stufe zu Stufe aufschlagend. In diesem Falle ist die kinetische Energie in der Höhe h_2

nicht mehr gleich der im ganzen durchlaufenen Niveaudifferenz $m \cdot \triangle S$, sondern viel kleiner.

Analog dem Körper, der im Gravitationsfeld der Erde fällt, denken wir uns nun ein freies elektrisches Elementarquantum, ein Jon, in einem elektrischen Felde. In diesem gibt es ebenfalls Flächen gleicher potentieller elektrischer Energie oder gleicher Spannung, und das Jon bewegt sich unter dem Antrieb der elektrischen Kraft von einer Fläche höherer Spannung V_1 nach einer Fläche niedrigerer Spannung V_2. Ist die elektrische Ladung des Jons e, so wird an ihm hierbei von der elektrischen Kraft die Arbeit geleistet $e \cdot \triangle V = e \cdot (V_1 - V_2)$. Diese Energiemenge wird ebenfalls aus potentieller Form in kinetische Energie des Jons verwandelt. Es sind nun auch hier wieder zwei Fälle zu unterscheiden. Das Jon ist ja auf seinem Wege von Teilchen, Molekülen, Atomen, umgeben, zwischen denen sich Zwischenräume mit Äther erfüllt befinden. Solange das Jon nur im reinen reibungslosen Äther sich bewegt, verliert es keine kinetische Energie an die Umgebung, es bewegt sich frei ohne Zusammenstoss. Wenn es dagegen auf neutrale Moleküle oder andere Jonen stösst, so gibt es an diese kinetische Energie ab, wie der über die Stufen einer Treppe fallende Körper. Es sei m der Beschleunigungskoëffizient oder die Masse des Jons, v_0 die Geschwindigkeit, mit der es in der Niveaufläche V_2 eintrifft; die Geschwindigkeit in V_1 sei Null. Wenn das Jon die Spannungsdifferenz $\triangle V = V_1 - V_2$ unfrei unter Zusammenstössen zurücklegt, so ist $\frac{1}{2} m v_0^2 < e \cdot \triangle V$; wenn dagegen die Spannungsdifferenz $\triangle V$ frei ohne Zusammenstoss durchlaufen wird, so gilt $\frac{1}{2} m v_0^2 = e \cdot \triangle V = e \cdot (V_1 - V_2)$.

Man kann also an Jonen grosse kinetische Energie anhäufen, man kann ihnen sehr grosse Geschwindigkeiten erteilen, indem man sie grosse elektrische Spannungsdifferenzen frei durchlaufen lässt. Ein Jon mit grosser Geschwindigkeit heisst ein elektrischer Strahl, da es gegenüber transversalen Kräften das Bestreben hat, gradlinig seinen Weg fortzusetzen wie ein Lichtstrahl. Da es positive und negative Jonen gibt, so gibt es auch positive und negative elektrische Strahlen. Ist das Jon speziell ein negatives Elektronjon, so heisst der negative Strahl auch Kathodenstrahl nach einer Herkunftsart negativer Strahlen (§ 8). Positive Strahlen heissen auch Kanalstrahlen, ebenfalls nach einer speziellen Art des Vorkommens.

Die Spannungsdifferenz $\triangle V$ wird in der Praxis in Volt gemessen; gibt man e in elektromagnetischem Masse an ($e = 1 \cdot 10^{-20}$), so muss man $\triangle V$ noch mit 10^8 multiplizieren, um die Spannungsdifferenz ebenfalls im absoluten elektromagnetischen Mass zu erhalten. Für das negative Elektronjon ist $\frac{e}{m} = 1{,}8 \cdot 10^7$. Durchläuft es darum 1 Volt Spannungs-

differenz frei, so ist die Geschwindigkeit des erhaltenen Kathodenstrahles $v_0 = \sqrt{2 \frac{e}{m} \cdot \triangle V \cdot 10^8} = \sqrt{2 \cdot 1{,}8 \cdot 10^7 \cdot 1 \cdot 10^8} = 6{,}1 \cdot 10^7 \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. Durchläuft es 50000 Volt frei, so entsteht ein Kathodenstrahl mit der Geschwindigkeit $v_0 = 1{,}36 \cdot 10^{10} \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1}$. Die Lichtgeschwindigkeit beträgt $3 \cdot 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{sec}^{-1}$.

§ 5.

Der Kathodenstrahl im transversalen elektrischen Feld.

Im folgenden beschränken wir uns auf die Betrachtung der negativen Strahlen oder mit anderen Worten auf bewegte negative Elektronjonen oder Kathodenstrahlen. Wir kümmern uns vorderhand gar nicht um die Frage, woher das negative Elektron kommt und woher es seine Geschwindigkeit hat. Wir nehmen an, dass es da sei und wie ein abgeschossenes Projektil Geschwindigkeit besitze.

Einen Körper kann man in der Richtung der Schwerkraft also vertikal oder auch transversal dazu, also horizontal fliegen lassen. Nennen wir eine schnell bewegte Masse z. B. ein Projektil, eine abgeschossene Gewehrkugel, einen Massenstrahl, so kann dieser longitudinal oder transversal im Kraftfeld der Erde laufen. Schiessen wir die Gewehrkugel vertikal von einem Turme zur Erde, so gewinnt unser Massenstrahl zu seiner Anfangsgeschwindigkeit noch weitere Geschwindigkeit in seiner anfänglichen Bewegungsrichtung hinzu, nämlich den Betrag $\triangle v = \sqrt{2 \triangle S}$. Nun können wir unsern Massenstrahl, die Gewehrkugel, auch transversal zur Schwerkraft, also in horizontaler Richtung auf dem Turme loslassen. Nun dann gewinnt sie in horizontaler Richtung durch die Schwerkraft keinen Zuwachs ihrer horizontalen v_h Geschwindigkeit, weil sie ja in horizontaler Richtung keine Energiedifferenz $\triangle S$ durchläuft. Dagegen wirkt senkrecht dazu auf unseren Massenstrahl in vertikaler Richtung die Schwerkraft und erteilt ihm in ihrer Richtung eine Geschwindigkeit v_v. Diese vertikale Geschwindigkeit v_v wird immer grösser, je länger man die Schwerkraft wirken lässt oder eine je grössere Energiedifferenz $\triangle S$ die Kugel transversal zu ihrer anfänglichen horizontalen Richtung durchlaufen kann. Man kann leicht berechnen, welche Ablenkung a_v in vertikaler Richtung die Kugel von ihrer anfänglichen Bewegungsrichtung erfahren hat, wenn sie in horizontaler Richtung den Weg l zurückgelegt hat. Wir berechnen zunächst die Zeit t, die sie zur Zurücklegung der Strecke l_h dank ihrer horizontalen Geschwindigkeit v_h braucht. Es ist offenbar $t = \frac{l_h}{v_h}$. Während dieser Zeit fällt nun die Kugel vertikal um

das Stück a_v, also um die Energiedifferenz $\triangle S = a_v \cdot F$, wo F die Kraft auf die Masse 1 ist. Die kinetische Energie in vertikaler Richtung ist darum nach der Zeit t gleich $\frac{1}{2} m v_v^2 = m \cdot a_v \cdot F$. Am Ende von a_v ist die Geschwindigkeit $v_v = \sqrt{2 a_v \cdot F}$, am Anfang 0; die mittlere Geschwindigkeit auf a_v ist darum $\frac{1}{2}\sqrt{2 a_v \cdot F}$. Mit dieser läuft die Kugel vertikal während der Zeit $t = \frac{l_h}{v_h}$. Da der Weg a_v gleich dem Produkt aus Geschwindigkeit $\frac{1}{2}\sqrt{2 a_v \cdot F}$ und der Zeit $\frac{l_h}{v_h}$, so ist $a_v = \frac{l_h}{2 \cdot v_h}$ Energiedifferenz auf der Längeneinheit oder mit anderen Worten die $\sqrt{2 a_v \cdot F}$ oder $a_v = \frac{l_h^2 \cdot F}{2 v_h^2}$. Das ist also die Ablenkung, welche unser Massenstrahl in vertikaler Richtung durch das transversale Gravitationsfeld erfährt, wenn er in seiner anfänglichen horizontalen Richtung den Weg l_h mit der Anfangsgeschwindigkeit v_h zurücklegt.

Analoge Verhältnisse gelten für die Bewegung eines Kathodenstrahles im elektrischen Feld. Ein solches können wir beispielsweise dadurch gewinnen, dass wir zwei Platten parallel gegenüber stellen und sie auf entgegengesetzter Spannung geladen erhalten. Die Kraftlinien sind dann parallel zu einander und senkrecht zu den Platten. Ist deren Spannungsdifferenz V in Volt, der Abstand der Platten d, so ist die Spannungsdifferenz auf der Längeneinheit oder die elektrische Kraft auf die Ladung 1 gleich $E = \frac{V}{d}$. Die elektrische Kraft auf die Ladung des Kathodenstrahles ist somit $e \cdot E = e \cdot \frac{V}{d}$.

Lassen wir nun den Kathodenstrahl in das elektrische Feld zwischen den Platten transversal zur elektrischen Kraft hineinschiessen, so verfolgt er seine Anfangsrichtung auch nicht mehr geradlinig weiter, sondern seine Bahn wird gekrümmt wie diejenige einer Gewehrkugel, welche in horizontaler Richtung abgeschossen wird. Während der Kathodenstrahl parallel zu den Platten den Weg l_h mit der anfänglichen Geschwindigkeit v_h zurücklegt, erfährt er senkrecht dazu von der elektrischen Kraft eine Ablenkung um das Stück a_e. Dieses lässt sich ganz analog wie bei der Gewehrkugel berechnen. Die kinetische Energie, welche der Kathodenstrahl in der Richtung der elektrischen Kraft gewinnt, ist $\frac{1}{2} m v_e^2 = e \cdot \triangle V = e \cdot a_e \cdot E$, die Zeit für den Weg l_h gleich $t = \frac{l_h}{v_h}$, die mittlere Geschwindigkeit auf a_e gleich $\frac{1}{2}\sqrt{2 \frac{e}{m} a_e \cdot E}$; also ist a_e gleich $\frac{l_h}{2 v_h}$ $\sqrt{2 \frac{e}{m} a_e \cdot E}$ oder $a_e = \frac{l_h^2 \cdot E}{2 v_h^2} \cdot \frac{e}{m}$. Aus dieser Gleichung kann man $\frac{e}{m}$ berechnen, wenn man l_h, v_h und E kennt.

§ 6.

Der Kathodenstrahl im magnetischen Feld.

Ein elektrischer Strom ist eine geordnete Bewegung von Elektrizität, in der Regel von vielen Jonen. Demgemäss haben wir auch ein einzelnes bewegtes Jon, speziell einen Kathodenstrahl für einen elektrischen Strom anzusehen. Nun wird ein elektrischer Strom durch ein Magnetfeld abgelenkt und zwar in folgender Weise. Im Raum sind drei zu einander senkrechte Richtungen vorhanden, sie seien mit x, y, z bezeichnet. Besitzt das Magnetfeld die Richtung x, fliesst der elektrische Strom in der Richtung y, so wird er magnetisch in der zu beiden Richtungen senkrechten Richtung z abgelenkt. Genau das gleiche geschieht mit einem Kathodenstrahl, der sich normal zu magnetischen Kraftlinien bewegt. Er erfährt eine Ablenkung a_m senkrecht zu seiner Bewegungsrichtung und senkrecht zum Magnetfeld.

Die Berechnung von a_m ist ebenso leicht, wie diejenige von a_e; wir wollen uns mit ihr nicht aufhalten, sondern es sei lediglich die Formel für a_m mitgeteilt. Ist der in einem homogenen Magnetfeld in der Anfangsrichtung zurückgelegte Weg l_h, die Stärke des Magnetfeldes M, v_h die Anfangsgeschwindigkeit, so ist

$$a_m = \frac{l_h^2 \cdot M}{2\, v_h} \cdot \frac{e}{m}.$$

§ 7.

Die Masse der Kathodenstrahlen.

Kathodenstrahlen erregen Gase, durch die sie laufen, oder gewisse feste Körper, auf die sie treffen, zur Fluoreszenz. Mit deren Hilfe kann man die Ablenkung der Kathodenstrahlen durch eine elektrische oder magnetische Kraft leicht beobachten. Aus der Ablenkung durch die eine wie durch die andere Kraft sowohl kann man schliessen, dass die Kathodenstrahlen eine elektrische Ladung besitzen. Aus der magnetischen Ablenkbarkeit folgt ausserdem, dass die Kathodenstrahlen eine Geschwindigkeit besitzen; denn nur, wenn eine elektrische Ladung Geschwindigkeit besitzt, ist sie magnetisch ablenkbar.

Man kann aber die elektrische Ladung und kinetische Energie der Kathodenstrahlen auch direkt durch das Experiment nachweisen. Lässt man nämlich Kathodenstrahlen durch eine Öffnung in einen isolierten Metallkäfig fallen, der zum Schutz gegen elektrische Kraftlinien von einem zweiten umgeben ist, so fliesst von dem Käfig zur Erde über ein eingeschaltetes Galvanometer eine negative elektrische Ladung ab. Und lässt

man Kathodenstrahlen auf die Lötstelle eines Thermoelementes fallen, so zeigt dieses eine beträchtliche Zunahme der Temperatur an; es wird nämlich an der Auftreffstelle kinetische Energie der Kathodenstrahlen in Wärmeenergie verwandelt.

Nun erheben sich zwei wichtige Fragen. Wie gross ist elektrische Ladung, wie gross ist die Masse oder der Beschleunigungskoëffizient des einzelnen Kathodenstrahles oder des einzelnen negativen Elektrons?

Gemäss unserer übrigen Erfahrung über die Konstanz des Elementarquantums ist theoretisch zu erwarten, dass die Ladung des negativen Elektronjons ein Ein- oder Mehrfaches des Elementarquantums sei. Der messende Versuch hat ergeben, dass sie gleich dem Elementarquantum ist. Ein negatives Elektronjon besitzt also der Grösse nach die gleiche elektrische Ladung, wie ein positives Wasserstoffjon in einem Elektrolyten.

Kennt man die Ladung e und ausserdem ihr Verhältnis zur Masse m, so kann man aus e und $\frac{e}{m}$ den Beschleunigungskoëffizienten oder die Masse m des Kathodenstrahlteilchens berechnen. Zur Bestimmung des Verhältnisses $\frac{e}{m}$ bietet die experimentelle Untersuchung der Kathodenstrahlen verschiedene Methoden. Es ist in einer Reihe von Gleichungen enthalten, so in der Gleichung, welche aussagt, dass die kinetische Energie des Kathodenstrahles gleich der frei durchlaufenen Spannungsdifferenz ist $\frac{1}{2} m \cdot v^2 = e \cdot \triangle V$. In der Gleichung für die elektrische Ablenkung $a_e = \frac{l_h^2 \cdot E}{2 \cdot v_h^2} \cdot \frac{e}{m}$, ferner in der Formel für die magnetische Ablenkung $a_m = \frac{l_h^2 \cdot M}{2 v_h} \cdot \frac{e}{m}$ kommt es ebenfalls vor, endlich in der Formel, welche die an einem Kathodenstrahlbündel sitzende Ladung J und die von ihm erzeugte Wärmemenge W verknüpft, nämlich $W = \frac{1}{2} J \cdot v^2 \cdot \frac{m}{e}$.

In den vorstehenden Gleichungen lassen sich direkt experimentell alle Grössen mit Ausnahme von $\frac{e}{m}$ und v bestimmen. Indem man darum zwei passende Gleichungen zusammenfasst, kann man diese beiden Grössen bestimmen. Man kann die Messung der frei durchlaufenen Spannungsdifferenz und die magnetische Ablenkung oder die elektrische und die magnetische Ablenkung oder die frei durchlaufene Spannungsdifferenz und die Wärmewirkung kombinieren. Nach diesen verschiedenen Methoden sind nun zahlreiche Bestimmungen von $\frac{e}{m}$ und v ausgeführt worden. Es ergab sich, dass $\frac{e}{m}$ für Geschwindigkeiten kleiner als $\frac{1}{3}$ Lichtgeschwindigkeit konstant gleich $1{,}86 \cdot 10^7$ in elektromagnetischem Mass ist. Wenn jedoch v der Lichtgeschwindigkeit sich nähert, so ist $\frac{e}{m}$ nicht mehr konstant, sondern wird rasch kleiner.

Für das elektrolytische positiv geladene Wasserstoffatom ist $\frac{e}{m} = 9,5 \cdot 10^3$. Da dieses und das negative Elektron der Grösse nach die gleiche elektrische Ladung besitzen, so ist der Beschleunigungskoëffizient oder die Masse des freien negativen Elektrons nahezu 2000 mal kleiner als die Masse des chemischen Wasserstoffatoms. Dieses Resultat hat solange etwas Beunruhigendes an sich und ist solange von prinzipieller Bedeutung, als man der Masse in der Physik die erste Rolle einräumt, als man in ihr kritiklos den unwandelbaren Träger aller physikalischer Erscheinungen sieht.

Sowie man aber in der Masse lediglich einen Beschleunigungskoëffizienten sieht, verliert jenes Resultat seine Fremdartigkeit und kann unter diesem Gesichtspunkt physikalisch fruchtbar gemacht werden. Zunächst wird man sich vor der schematischen Folgerung hüten, dass ein Elektron innerhalb eines Wasserstoffatoms auch den tausendsten Teil von dessen Masse darstellt; wie die Masse eines chemischen Atoms von der Zahl und Verteilung seiner positiven und negativen Elektronen abhängt, wissen wir ja nicht. Ferner wird die Tatsache verständlich, dass $\frac{e}{m}$ bei Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit sich ändert. Diese Änderung hat in einer Veränderlichkeit der Masse m des negativen Elektrons seinen Grund; diese ist aber nicht eine primäre unveränderliche Konstante, sondern variiert mit der Verteilung der elektrischen Kraftlinien am Elektron. Da bei Annäherung der Geschwindigkeit des Elektrons an diejenige des Lichtes das Kraftfeld um das Elektron sich ändert, so ändert sich auch die Masse.

Die Geschwindigkeit v der Kathodenstrahlen ist natürlich von Fall zu Fall verschieden gross, je nach der Energiedifferenz, welche sie frei durchliefen. Man hat schon Kathodenstrahlen untersucht, deren Geschwindigkeit kleiner als $1 \cdot 10^8$ cm $\cdot$ sec^{-1} ist. Von dieser Geschwindigkeit aufwärts lassen sich alle möglichen Geschwindigkeiten bis zu $1 \cdot 10^{10}$ cm $\cdot$ sec^{-1}, also ein Drittel Lichtgeschwindigkeit herstellen. Und aus gewissen radioaktiven Substanzen kommen Strahlen, deren Geschwindigkeit $2,8 \cdot 10^{10}$ cm $\cdot$ sec^{-1} ist.

Die Geschwindigkeit eines Projektiles übersteigt wenig $5 \cdot 10^4$ cm $\cdot$ sec^{-1}, bei Zimmertemperatur beträgt die theoretische Geschwindigkeit eines Wasserstoffmoleküls $1,8 \cdot 10^5$ cm $\cdot$ sec^{-1}, bei Lichtbogentemperatur (etwa 3000°) $3,3 \cdot 10^5$ cm $\cdot$ sec^{-1}. Der Grund, warum die Geschwindigkeit der negativen Elektronjonen so gross werden kann, ist ein zweifacher. Erstens ist der Beschleunigungskoëffizient des Elektrons ein viel kleinerer als derjenige der Moleküle, zweitens kann man das negative Elektronjon grosse Spannungsdifferenzen frei durchlaufen lassen.

§ 8.

Erzeugung der Kathodenstrahlen.

Ein Kathodenstrahl ist ein freies negatives Elektron, das Geschwindigkeit besitzt. Kathodenstrahlen erzeugen heisst also, freie negative Elektronen schaffen und ihnen Geschwindigkeit erteilen.

Es gibt verschiedene physikalische Erscheinungen, welche uns die Annahme nahe legen, dass in den Metallen freie negative Elektronen zwischen den Metallatomen hin- und herfliegen; der metallische Zustand ist eben durch die Gegenwart negativer Elektronjonen charakterisiert. Nun können diese freien negativen Elektronen unter den gewöhnlichen Umständen nicht aus den Metallen entweichen, sie werden an der Oberfläche durch eine Kraft festgehalten, wenn sie aus dem Metall in den angrenzenden Gasraum übertreten wollen; ähnlich kann auch eine Kanonenkugel nicht von der Erde weg in den Himmelsraum hineingeschossen werden, da sie von der Schwerkraft in der Erdnähe festgehalten wird. Nun stehen uns bis jetzt zwei Mittel zur Verfügung, negative Elektronjonen aus Metalloberflächen in den angrenzenden Gasraum herauszutreiben. Wir können erstens die Temperatur des Metalles und damit die Geschwindigkeit seiner negativen Elektronjonen steigern; diese vermögen dann zum Teil den Bereich der sie an der Oberfläche haltenden Kraft zu durchfliegen und in den Gasraum überzutreten. Zweitens können wir auf die Metallfläche violettes Licht fallen lassen, die kurzen Lichtwellen erteilen dann den negativen Elektronen so grosse Impulse, dass sie aus dem Metall herauszufliegen vermögen. Weissglühende Körper und (ultraviolett) bestrahlte Metallflächen senden also Kathodenstrahlen aus. Da Röntgenstrahlen, wie weiter unten dargelegt wird, Lichtstrahlen von sehr kleiner Wellenlänge sind, so ist zu verstehen, dass auch sie Metallflächen, auf welche sie fallen, zur Aussendung von Kathodenstrahlen veranlassen.

Die von glühenden Körpern und bestrahlten Metallflächen ausgesandten Kathodenstrahlen besitzen bei ihrem Übertritt in den Gasraum nur eine kleine Geschwindigkeit. Man kann ihnen aber dann hier eine beliebig grosse Geschwindigkeit erteilen, indem man sie entsprechende Spannungsdifferenzen frei durchlaufen lässt. Hierzu kann man zwei Mittel anwenden. Man kann erstens den Abfall der elektrischen Spannung gross machen, indem man den Körper, der Kathodenstrahlen aussendet, zur Kathode macht und zwischen ihm und seiner Umgebung im Gas eine grosse Spannungsdifferenz herstellt. Zweitens kann man die freie Weglänge der Jonen im Gase dadurch gross machen, dass man das Gas verdünnt, also die mittleren Abstände zwischen den Molekülen gross macht.

Statt wie in oben beschriebenen Methoden die negativen Elektronen aus einem festen Körper durch Erhitzung oder Bestrahlung in den angrenzenden Gasraum überzuführen, kann man sie in dem Gase selbst aus neutralen Atomen durch Jonisierung frei machen und ihnen dann durch ein elektrisches Feld grosse Geschwindigkeiten erteilen. So kann man zur Jonisierung eines Gases den Stoss schneller positiver und negativer Jonen benützen.

Kathodenstrahlen oder negative Elektronjonen, deren Geschwindigkeit gemessen in Volt ungefähr über 30 Volt liegt, besitzen nämlich die Eigenschaft, durch ihren Stoss aus neutralen Gasmolekülen negative Elektronen frei zu machen, also im Gas (sekundäre) Kathodenstrahlen zu erzeugen. Die gleiche Fähigkeit besitzen positive Jonen, deren Geschwindigkeit ungefähr über 300 Volt liegt. Diese von primären positiven oder negativen Strahlen erzeugten sekundären Strahlen besitzen schon dank dem Stoss des erzeugenden Jons eine gewisse Geschwindigkeit; diese kann dann wieder beliebig vergrössert werden, indem man auf die sekundären Strahlen ein entsprechendes starkes elektrisches Feld wirken lässt. Hierauf beruht der Mechanismus, durch welchen in Vakuum-, speziell in Röntgenröhren die schnellen Kathodenstrahlen erzeugt werden.

Es seien durch irgend welche sekundäre Umstände in der Nähe der Kathode einige positive Jonen vorhanden. Diese werden, sowie eine Spannungsdifferenz um die Elektroden der Vakuumröhre gelegt wird, von der elektrischen Kraft nach der Kathode zu in Bewegung gesetzt, können infolge der grossen Gasverdünnung grosse Spannungsdifferenzen frei durchlaufen und erlangen so eine grosse Geschwindigkeit, dass sie in der Nähe der Kathode das Gas durch ihren Stoss zu jonisieren vermögen. Die dadurch frei gemachten negativen Elektronen oder langsamen Kathodenstrahlen werden aber dann von der elektrischen Kraft erfasst und von der Kathode fortgetrieben, durchlaufen zunächst grosse Spannungsdifferenzen frei, treffen dann aber auf neutrale Gasmoleküle und jonisieren diese ebenfalls durch ihren Stoss. Es werden somit in einigem Abstande von der Kathode durch die von dieser kommenden negativen Strahlen positive und negative Jonen erzeugt; die neuen positiven Jonen werden ebenfalls zum Teil sofort wieder von der elektrischen Kraft nach der Kathode gejagt und das Spiel wiederholt sich. Indem sich so die Jonisierung an der Kathode durch die positiven Jonen und die Jonisierung in einigem Abstand davon durch die negativen Jonen gegenseitig in die Hände arbeiten, wie zwei Ballspieler gegenseitig die Bälle wieder zurückwerfen, kann eine intensive Kathodenstrahlung solange von der Kathode ausgehen, als eine genügend grosse elektrische Spannungs-

differenz zwischen den Elektroden aufrecht erhalten wird, als die Muskelkraft der Ballspieler arbeitet.

In den oben beschriebenen Methoden ist die Erzeugung von Kathodenstrahlen in des Menschen Hand gegeben. Es gibt indes einen spontan unabhängig von menschlicher Willkür verlaufenden Vorgang in der Natur, in dem Kathodenstrahlen erzeugt werden und zwar Kathodenstrahlen von einer so grossen Geschwindigkeit, wie sie in Vakuumröhren bis jetzt noch nicht künstlich gewonnen werden konnten. Es geschieht dies bei der Radioaktivität.

Die chemischen Atome konnte man bis in die letzten Jahre noch nicht physikalisch weiter teilen. Die Jonisierung, die Lostrennung negativer Elektronen von einem neutralen Atom, ist ein erster Schritt zur Auflösung eines chemischen Atoms in seine elementaren Bestandteile. Einige Atomarten, nämlich Uran, Thor und Radium, zeigen nun die Eigenschaft, dass sie sehr langsam von selbst zerfallen und in andere Atomarten sich verwandeln. So entstehen aus Radiumatomen durch schrittweise Verwandlung Heliumatome. Dies hat die experimentelle Forschung nachgewiesen.

Bei diesem Zerfall chemischer Atome werden nun riesige Energiemengen entbunden, ein zerfallendes Atom stellt ein Explosionszentrum dar, dessen Teilchen ungeheuer grosse Geschwindigkeit annehmen. Es ist darum nicht zu verwundern, wenn ein explodierendes Atom Bruchteile von sich, beispielsweise negative Elektronen von grosser Geschwindigkeit ausschleudert. Die Radioaktivität, die spontane Aussendung positiver und negativer elektrischer Strahlen ist somit als energetische Begleiterscheinung einer Umwandlung chemischer Atome aufzufassen. Die radioaktiven Elemente Thor, Uran und Radium senden spontan Kathodenstrahlen von sehr grosser Geschwindigkeit aus.

§ 9.
Zerstreuung der Kathodenstrahlen.

Solange die Kathodenstrahlen im kräftefreien reinen Äther sich bewegen, behalten sie die Grösse und Richtung ihrer Geschwindigkeit unverändert bei. Dies ist dagegen nicht mehr der Fall, wenn sie auf ihrem Wege in die Nähe von Körpermolekülen kommen oder direkt auf sie stossen. Es treten dann zwischen diesen und den Kathodenstrahlteilchen Kräfte in Aktion, welche die Kathodenstrahlen von ihrer Bahn nach allen möglichen Richtungen ablenken. Gleichzeitig geben die Kathodenstrahlen an die Körpermoleküle kinetische Energie ab, ihre Geschwindigkeit wird kleiner, ähnlich wie die Geschwindigkeit einer Gewehrkugel kleiner wird, wenn sie in eine Sandmasse einschlägt.

Die Ablenkung der Kathodenstrahlen durch Körpermoleküle und die damit verbundene Geschwindigkeitseinbusse heisst Zerstreuung der Kathodenstrahlen. Ein Bündel paralleler Kathodenstrahlen wird diffus, breitet sich nach allen Seiten aus, wenn es in einen dichten Körper eindringt. Da der Durchmesser eines negativen Elektrons nur ein sehr kleiner Bruchteil eines chemischen Atoms sein kann, so ist er auch sehr klein, verglichen mit den Zwischenräumen, die wir zwischen den Molekülen eines Körpers anzunehmen haben. Vergleichen wir die Moleküle eines Körpers mit den einzelnen Individuen eines Vogelschwarmes, diesen selbst mit dem Körper, so können wir die Kathodenstrahlen, die in einen Körper eindringen, mit feinen Schrotkörnern vergleichen, die nach dem Vogelschwarm geschossen werden. Ist der Vogelschwarm nicht zu dicht, so kann durch ihn ein grosser Teil der Schrotkörner fliegen, ohne zu treffen, und ohne Geschwindigkeitseinbusse. Analog kann es uns nicht wundernehmen, wenn ein Teil der in einen Körper eindringenden winzig kleinen Kathodenstrahlteilchen dünne Schichten des Körpers zu durchdringen vermag. Dies ist in der Tat der Fall; so kann man die Kathodenstrahlen aus einer Vakuumröhre durch ein dünnes Fenster aus Aluminium austreten lassen.

Je dichter die Moleküle der Körper gelagert sind, desto stärker werden die Kathodenstrahlen in ihnen zerstreut, desto weniger dicke Schichten vermögen sie zu durchdringen. So werden sie in Gasen um so weniger zerstreut, als die Gasdichte erniedrigt wird; in Platin können sie auf viel kürzerer Strecke vorwärts dringen als in dem weniger dichten Aluminium.

Ausserdem werden die Kathodenstrahlen um so weniger zerstreut, je grösser ihre Geschwindigkeit ist, ähnlich wie auch die Durchschlagskraft eines Projektiles mit seiner Geschwindigkeit wächst. Langsame Kathodenstrahlen, deren Geschwindigkeit kleiner als 10 Volt ist, kommen leicht an Gasmolekülen zum Stillstand, ihre negativen Elektronen binden dann mehrere neutrale Gasmoleküle an sich und bilden so die oben erwähnten grossmassigen Moljonen.

II. Röntgenstrahlen.

§ 10.

Die Wellenbewegung in einem Medium.

Wir nehmen ein längeres elastisches Seil und legen es auf eine glatte Ebene; die Reibung zwischen dem Seil und dem ebenen Boden sei gering. Das Seil sei zunächst gestreckt; wir lassen das eine Ende auf dem Boden

frei liegen, das andere fassen wir mit der Hand und führen es senkrecht zur Seilrichtung einmal schnell zur Seite und dann ebenso schnell wieder in die alte Lage zurück. Wir beobachten dann, dass die seitliche oder transversale Bewegung des Seilendes zunächst auf die nahen, dann auf die entfernteren übrigen Teile des Seiles sich überträgt; ein jeder Punkt des Seiles ahmt in zeitlich gleicher Folge die Bewegungen des Seilendes nach. Darum sind in einem bestimmten Moment an aufeinanderfolgenden Punkten des Seiles gleichzeitig alle nach einander von der Hand bewirkten Ausschläge oder „Amplituden" unseres Seilendes zu sehen; wir nehmen an den bewegten Punkten eine Welle wahr, einen Berg und ein Tal. Im nächsten Moment sind aber die Ausschläge der Punkte wieder andere, die Lage der Welle hat sich also verschoben; die Welle hat sich längs des Seiles fortgepflanzt.

In der Wellenbewegung des Seiles ist kinetische Energie enthalten. Ist die Masse des Seiles im Punkte 1 gleich m_i, deren Geschwindigkeit zur Zeit t gleich v_i, so erhalten wir die kinetische Energie unserer einzigen Seilwelle, indem wir die kinetische Energie in allen Punkten der Welle addieren, also die Summe $\Sigma \frac{1}{2} m_i v_i^2$ bilden. Diese kinetische Energie der Seilwelle bleibt nicht an einer und derselben Stelle des Seiles haften, sondern schreitet mit der Welle mit der dieser eigenen Geschwindigkeit längs des Seiles vorwärts. In der Seilrichtung, also in der Fortpflanzungsrichtung der Seilwelle, strömt kinetische Energie. Die in Wellenform längs des Seiles sich fortpflanzende Energie entstammt der von unserer Hand geleisteten Arbeit.

Unter Wellenlänge λ verstehen wir den Abstand zweier aufeinanderfolgender Punkte, welche in Richtung und Grösse momentan die gleiche Bewegung ausführen, also zusammen die Länge eines Wellenberges und Tales. Unter der Periode T der Wellenbewegung verstehen wir die Zeit, die vergeht, bis ein Punkt des Seiles in der Welle sämtliche möglichen Ausschläge durchlaufen hat, bis er also alle Bewegungen unseres Seilendes nachgeahmt hat, das wir ein einziges Mal hin- und hergeführt haben. Die Periode der sich fortpflanzenden Wellenbewegung ist also identisch mit der Periode der erregenden Bewegung. Während dieser Zeit T pflanzt sich die Bewegung gerade um die Wellenlänge λ fort. In der Zeiteinheit pflanzt sich darum die Welle um die Strecke $c = \frac{\lambda}{T} \cdot 1 = \frac{\lambda}{T}$ fort. Der von der Welle in der Zeiteinheit zurückgelegte Weg c heisst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellenbewegung.

Wir haben in unserem Versuch das Seilende transversal nur einmal hin und her bewegt, wir haben darum auf dem Seile nur eine einzige

Welle erhalten. Wenn wir nun das Seilende mehrmals hintereinander gleichmässig im Takt mit der Periode T seitlich hin und her bewegen, so erhalten wir eine ganze Reihenfolge gleich langer hintereinander herlaufender Wellen.

Bis jetzt haben wir an unsere Hand nur ein einziges Seil gelegt und dessen Ende transversal bewegt. Nun aber wollen wir an unsere Hand nach allen Richtungen im Raum Seile gelegt denken, der ganze Raum sei also durch Seile mit unserer Hand verknüpft. Es ist dann der Raum mit einem Medium, der Seilsubstanz, erfüllt und unsere Hand stellt in diesem kontinuierlichen Medium eine ausgezeichnete Stelle dar, eine Singularität. Bewegen oder drehen wir unsere Hand hin und her, so gehen von ihr Wellen aus rings herum in das den Raum erfüllende Seilmedium. Es strömt von unserer Hand weg kinetische Energie in Wellenform in das umgebende Medium hinein mit einer dem Medium eigentümlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit c. Die Periode der Wellenbewegung wird von dem Takt oder der Periode T der Bewegung unserer Hand angegeben, die Wellenlänge λ ist gleich $c \cdot T$.

Wir haben bis jetzt in unserem Seilmedium nur eine einzige singuläre Stelle, eine Hand angenommen, an welche das umgebende kontinuierliche Medium geknüpft ist. Nun wollen wir eine zweite derartige singuläre Stelle annehmen. Die zweite sei zunächst in Ruhe, die erste Hand wollen wir aber hin und her bewegen, wir wollen also von ihr eine Wellenbewegung ausgehen lassen. Ein Teil von dieser bewegt sich dann auch in der Richtung nach der zweiten Hand hin; die Seile, längs deren sie sich fortpflanzt, bewegen sich transversal hin und her. Und erreicht diese transversale Bewegung die Seilenden der zweiten Hand, so wird diese von ihr ebenfalls mit in Bewegung gesetzt, sie gewinnt aus der Wellenbewegung kinetische Energie, ein Teil der Energie der einfallenden Wellenenergie bleibt an der zweiten Hand haften oder wird wie wir uns ausdrücken wollen, von ihr absorbiert. Die singulären Stellen in unserem Seilmedium sind also nicht bloss die Aussender, sondern auch die Empfänger und Absorber der Wellen; dadurch, dass die singulären Stellen mit dem umgebenden kontinuierlichen Medium verknüpft sind, vermögen sie sich durch Ausstrahlung von Wellen gegenseitig Signale zuzusenden und aufeinander Energie zu übertragen.

§ 11.

Die elektromagnetische Strahlung, Wesen des Lichtes.

Wie oben bereits dargelegt wurde, erfüllt der Äther als kontinuierliches Medium den Raum. In ihn sind singuläre Stellen eingebettet, nämlich positive

und negative Elementarquanta oder Elektronen. Diese Elektronen sind, wie oben die Hand mit dem umgebenden Seilmedium, ebenfalls verknüpft mit dem umgebenden Äther; ein jedes Elektron ist ja umgeben von einem in die Ferne reichenden Felde elektrischer und magnetischer Kraft. Führt darum das Elektron eine hin- und hergehende Bewegung aus, so ahmt die magnetische und elektrische Kraft des umgebenden Feldes diese Bewegung von Punkt zu Punkt im Raume nach; es entsteht eine räumlich sich ausbreitende Wellenbewegung magnetischer und elektrischer Kraft. Diese beiden stehen wie bei unseren Seilwellen senkrecht auf der Fortpflanzungsrichtung; diese oder der Strahl der elektromagnetischen Welle ist die Strömungslinie von Energie, in diesem Falle von elektromagnetischer Energie.

Bei der Entstehung der Seilwellen aus der Bewegung der Hand findet solange Übertragung der Bewegung der Hand in das umgebende Medium statt, als die Geschwindigkeit der Hand sich ändert, grösser oder kleiner wird. Die Geschwindigkeitsänderung in der Zeiteinheit nennen wir Beschleunigung. Ausstrahlung von Seilwellen hat also mit andern Worten nur bei Beschleunigung der erregenden Hand statt; gleichmässige, unbeschleunigte Bewegung hat keine Wellenbewegung zur Folge. Analog kommt eine elektromagnetische Ausstrahlung am Elektron nur dann zustande, wenn die Geschwindigkeit des Elektrons sich ändert, wenn das Elektron eine Beschleunigung erfährt. Die ausgestrahlte Energie wird dabei auf Kosten der kinetischen Energie des Elektrons gewonnen; der Verlust an kinetischer Energie ist gleich der ausgestrahlten elektromagnetischen Energie.

Wie eine Hand in einem Seilmedium einer zweiten Hand, die mit demselben Seilmedium verknüpft ist, mittels ausgestrahlter Seilwellen Signale zuschicken kann, so senden sich auch die Elektronen durch Vermittlung des sie einschliessenden Äthers elektromagnetische Wellensignale zu. Kommt eine elektrische Welle bei ihrer Ausbreitung an ein Elektron, so gerät dieses in ein schwingendes Feld elektrischer und magnetischer Kraft, und es wird von diesen Kräften in Bewegung gesetzt, gleichwie ein Kathodenstrahlteilchen in einem stationären elektromagnetischen Kraftfeld. Das Elektron gewinnt so durch die einfallenden Wellen Geschwindigkeit und kinetische Energie auf Kosten der elektromagnetischen Wellenenergie. Wir haben bei dieser Absorption oder bei der Einstrahlung von elektromagnetischen Wellen die umgekehrte Richtung der Transformation von kinetischer Elektronenenergie in elektromagnetische Wellenenergie.

Die Periode T der elektromagnetischen Welle ist gleich der Periode des ausstrahlenden Elektrons. Ist c die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in unserem neuen Medium, dem Äther, so ist wieder die Wellenlänge $\lambda = c \cdot T$.

Indem wir die Periode des bewegten Elektrons oder auch einer ganzen Gruppe von Elektronen entsprechend wählen, können wir die Länge der elektromagnetischen Wellen beliebig gross oder klein machen. Hertz hat künstlich durch Funkenentladung von zylindrischen Leitern, indem er also eine grosse Anzahl von Elektronen in Bewegung versetzte, elektromagnetische Wellen von 5 bis 50 m Länge hergestellt. Als er die Fortpflanzungsgeschwindigkeit dieser Wellen bestimmte, fand er die Lichtgeschwindigkeit.

Nun hat eine tausendfältige Erfahrung ergeben, dass wir das Licht als eine Wellenbewegung in einem kontinuierlichen Medium aufzufassen haben. Da die Lichtwellen und Wellen, deren elektromagnetische Natur feststeht, die gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit haben, so können wir schliessen, dass die Lichtwellen ebenfalls elektromagnetische Wellen sind. Und da alle elektromagnetische Ausstrahlung in einer Bewegung oder genauer in einer Beschleunigung von Elektronen ihren Grund hat, so ergibt sich der Satz, dass die Lichtwellen bei Beschleunigung von Elektronen als elektromagnetische Ausstrahlung zustande kommen. Die elektromagnetische Energie, welche in den Lichtstrahlen strömt, wird aus der kinetischen Energie der beschleunigten Elektronen gewonnen. Ausstrahlung von Licht besteht also in einer Verwandlung von kinetischer Elektronenenergie in strömende elektromagnetische Energie des Äthers.

Umgekehrt bringen von aussen kommende Lichtwellen an Elektronen Beschleunigung und kinetische Energie hervor. Die Absorption von Lichtwellen besteht in einer Verwandlung elektromagnetischer Strahlungsenergie des Äthers in kinetische Elektronenenergie.

Zum Nachweis elektromagnetischer Wellen besitzt der Mensch bis jetzt eine Reihe von Reagentien und Instrumenten. So benützt man in der drahtlosen Telegraphie zur Wahrnehmung elektromagnetischer Wellen den sogenannten Kohärer, ferner kann man die von elektromagnetischen Wellen bewirkte Erwärmung mittels Thermosäulen oder mittels des noch empfindlicher auf Wärme ansprechenden Bolometers zum Nachweis bringen. Für eine Gruppe elektromagnetischer Wellen von bestimmter Länge, nämlich für Wellen von $7 \cdot 10^{-5}$ bis zu $3{,}9 \cdot 10^{-5}$ cm, hat die Natur dem Menschen als reagierendes Instrument das Auge gegeben. Und eben diese mit dem Auge wahrnehmbaren Wellen nennen wir Licht.

Alle elektromagnetischen Wellen besitzen Energie oder Intensität, sie unterscheiden sich voneinander durch ihre Länge. Der Nachweis elektromagnetischer Wellen kann sich auf die Kundmachung elektromagnetischer Strahlungsenergie oder Intensität beschränken ohne Rücksicht auf die Wellenlänge oder die „Farben“ der elektromagnetischen Wellen. Man kann aber auch einen Schritt weiter gehen und nach Instrumenten oder Vorrichtungen suchen, welche nur auf ganz bestimmte Längen elektromagnetischer Wellen ansprechen, welche also nicht bloss intensitäts-, sondern auch farbenempfindlich sind. In der Praxis der drahtlosen Telegraphie mittels elektromagnetischer Wellen ist diese zweite Aufgabe in der sogenannten abgestimmten Telegraphie erst zu einem kleinen Teile gelöst. Die Natur hat in unserem menschlichen Auge ein Instrument konstruiert, das für die elektromagnetischen Wellen, die Licht heissen, sowohl auf die Intensität wie auf die Länge elektromagnetischer Wellen anspricht; die Stäbchen in unserer Netzhaut sind intensitäts-, die Zapfen farbenempfindlich.

§ 12.
Zwei Arten der Erregung und Absorption des Lichtes.

Wir sind uns nun klar über die Erregung und die Absorption der Lichtwellen; in beiden Fällen haben wir eine Wechselwirkung zwischen dem kontinuierlichen Äther und den mit ihm verknüpften Elektronen. Beschleunigung der Elektronen hat elektromagnetische Ausstrahlung in den Äther, elektromagnetische Einstrahlung aus dem Äther hat Beschleunigung der Elektronen zur Folge.

Es gibt nun zwei Fälle des Vorkommens der Elektronen und damit auch zwei Fälle der Lichterregung. Wie wir eben gesehen haben, kann das positive oder negative Elektron an andre Elektronen gebunden sein durch wechselseitige Kräfte. Das negative Elektron kann aber als Elektronjon auch in freiem Zustande vorkommen und auf Zickzackwegen zwischen den Molekülen eines Körpers umherirren, indem es in Verfolgung seines geradlinigen Weges auf Körpermoleküle stösst und wieder zurückgestossen wird.

Das im Atom gebundene Elektron führt um eine mittlere Gleichgewichtslage Schwingungen aus; diese werden durch eine Erschütterung des Atoms unter einem äusseren Stoss ausgelöst; ihre Amplituden und ihre kinetische Energie ist um so grösser, je intensiver der Stoss von aussen ist. Infolge der Beschleunigung, welche das Elektron bei seiner Schwingung im Atom erfährt, hat elektromagnetische Ausstrahlung statt. Die Periode der ausgesandten Lichtwelle ist gleich der Periode der

Schwingung des Elektrons im Atom, also gleich der Zeitdauer eines einmaligen Hin- und Herganges. Dies ist alles zu erwarten nach dem, was wir uns oben über die Erregung der elektromagnetischen Strahlung klar gemacht haben.

Nun aber kommt das Neue. Die Periode oder Schwingungsdauer eine Pendels hängt ab von seiner Eigenart, von seiner Länge und Masse und von der Grösse der auf ihn wirkenden Kraft. Die Höhe des Tones, den eine Stimmgabel aussendet, hängt ab von der Schwingungsdauer der Stimmgabel und diese wird durch die Eigenart derselben, von der in ihr wirksamen elastischen Kraft und ihrer Masse bestimmt. Die Perioden der im Atom schwingenden Elektronen sind nicht beliebig, sondern sind bestimmt durch die spezielle Art der Bindung des Elektrons im Atom; sie sind somit charakteristisch für den Aufbau des Atoms aus Elektronen. Die Lichtstrahlung, welche von den gebundenen Elektronen im Atom ausgeht, setzt sich aus einzelnen ganz bestimmten Wellenlängen zusammen, die voneinander im Spektrum durch strahlungsleere Zwischenräume getrennt sind. Das Spektrum der Strahlung der gebundenen Elektronen aus dem Atom ist diskontinuierlich, ein Linien- oder Bandenspektrum.

Die freien Elektronen, die negativen Elektronjonen stehen nicht unter dem Zwang von bestimmten Kräften, sie führen nicht regelmässige Schwingungen aus, vielmehr ganz unregelmässige Zickzackbewegungen. Solange sie auf dem Wege zwischen zwei aufeinanderfolgenden Ecken ihrer Bahn mit konstanter Geschwindigkeit, also ohne Beschleunigung laufen, geben sie keine elektromagnetische Strahlung aus. Beim Aufprallen auf ein Körperteilchen vermindert sich dagegen ihre Geschwindigkeit, beim Zurückprallen wird sie wieder grösser; während des Stosses auf ein Molekül erfährt also ein Elektronjon eine Beschleunigung. Während des Stosses muss darum ein Elektronjon eine elektromagnetische Welle in den Äther hinaussenden. Die Dauer t des Aufprallens, die Zeit von Beginn der Geschwindigkeitsänderung bis zu Beginn des Rückprallens, ist gleich einem Viertel der Länge λ der ausgesandten elektromagnetischen Welle. Ist c die Lichtgeschwindigkeit, so ist $\lambda = 4 c \cdot t$.

Der Zusammenstoss von Elektronjonen mit Körpermolekülen ist also mit einer elektromagnetischen Ausstrahlung verbunden. Die Periode der ausgesandten elektromagnetischen Wellen wird bestimmt durch die Stossdauer. Diese variiert für das einzelne Elektronjon von Stoss zu Stoss und ist in jedem Zeitmoment von Elektronjon zu Elektronjon verschieden. Aus diesem Grund sendet ein Körper, zwischen dessen Molekülen Elektronjonen unregelmässig hin und her fahren, alle möglichen Wellenlängen oder ein kontinuierliches Spektrum aus.

Analog wie bei der Erregung des Lichtes sind auch bei der Absorption desselben zwei Fälle zu unterscheiden. Die Einstrahlung kann am gebundenen oder am freien Elektron statthaben. Im ersten Fall werden von den eingestrahlten Wellen diejenigen am stärksten von den Elektronen absorbiert, welche mit diesen in gleichem Takte schwingen; es werden diejenigen Wellenlängen absorbiert, welche die gebundenen Elektronen selbst auch ausstrahlen. Im zweiten Fall folgt aber das Elektronjon der Schwingung einer jeden einfallenden Welle; von der ersten Hälfte der einfallenden Welle wird das freie Elektron in der einen Richtung angetrieben, von der zweiten Hälfte dagegen erhält es in der entgegengesetzten Richtung Energie. Gibt es während dieser Zeit keine künstliche Energie an die Umgebung, beispielsweise durch Stoss, ab, so ist nach dem Vorüberziehen der ganzen Welle seine kinetische Energie ebenso gross wie zuvor, das Elektronjon hat die elektromagnetische Welle nicht absorbiert. Verhindert man also während der Periode der einfallenden Wellen die Energieabgabe von seiten des Elektronjons, so ist die Lichtabsorption gering; dies kann bewirkt werden, indem man die Periode der einfallenden Welle klein nimmt im Verhältnis zu der Dauer zwischen zwei aufeinander folgenden Zusammenstössen des Elektronjons. Damit also elektromagnetische Wellen von einem Körper möglichst wenig absorbiert werden, darf erstens ihre Periode nicht vorkommen unter den Schwingungsperioden der gebundenen Elektronen der Körperatome, zweitens muss sie sehr klein sein.

§ 13.

Erzeugung der Röntgenstrahlen.

Zur Erzeugung der Röntgenstrahlen verwenden wir die elektrische Strömung in verdünnten Gasen. Wie in § 8 dargelegt wurde, schaffen wir uns an der Kathode durch Jonisierung zunächst freie negative Elektronen aus neutralen Atomen. Diesen negativen Elektronjonen oder Kathodenstrahlen erteilen wir darauf eine grosse Geschwindigkeit, indem wir sie eine grosse Spannungsdifferenz frei durchlaufen lassen; zu dem Zweck legen wir erstens an die Elektroden eine grosse Spannungsdifferenz 30 000 bis 100 000 Volt mit Hilfe der Sekundärspule eines Induktoriums, zweitens machen wir die freie Weglänge unserer Elektronjonen gross, indem wir eine hohe Verdünnung des Gases in unserer Röntgenröhre anwenden. Nachdem auf diese Weise Kathodenstrahlen oder negative Elektronjonen von grosser Geschwindigkeit hergestellt sind, lassen wir sie auf die Moleküle eines festen Körpers fallen, beispielsweise auf die Glaswand

oder noch besser auf die schweren Moleküle eines Platinbleches (Antikathode), das der Kathode gegenübergestellt ist. Unsere Kathodenstrahlen prallen so auf Moleküle und erfahren so eine Beschleunigung während ihres Stosses. Beim Auftreffen der Kathodenstrahlen auf die Moleküle der Antikathode muss darum eine elektromagnetische Ausstrahlung erfolgen. Diese elektromagnetische Strahlung, welche schnelle negative Elektronjonen oder Kathodenstrahlen beim Auftreffen auf die Moleküle der Antikathode aussenden, ist die Röntgenstrahlung.

Die Röntgenstrahlen sind prinzipiell verschieden von den sie erzeugenden Kathodenstrahlen. Sie sind nicht wie diese elektrisch geladen und darum weder elektrisch noch magnetisch ablenkbar. Ihre Geschwindigkeit ist gleich derjenigen der Lichtwellen; sie sind prinzipiell nicht von diesen verschieden, sie sind elektromagnetische Wellen im Äther wie diese. Was sie von den sichtbaren Lichtwellen unterscheidet, was sie eben für das menschliche Auge unsichtbar macht, ist ihre Länge.

Wir wollen durch eine einfache Überschlagsrechnung eine obere Grenze für die Wellenlänge der Röntgenstrahlen ermitteln. Die Geschwindigkeit unseres Kathodenstrahles sei $v = 1{,}2 \cdot 10^{10}$ cm · sec^{-1}, er möge also 40000 Volt frei durchlaufen haben. Er möge auf ein Körpermolekül treffen, dessen Durchmesser von der Ordnung $d = 10^{-7}$ cm ist. Er möge nach Durchlaufung des halben Moleküles seine ganze Geschwindigkeit eingebüsst haben. Die Zeit, die während der Zurücklegung der Strecke $0{,}5 \cdot 10^{-7}$ cm mit der mittleren Geschwindigkeit $0{,}6 \cdot 10^{10}$ cm · sec^{-1} vergeht, ist $t = \frac{d}{v} = \frac{0{,}5 \cdot 10^{-7}}{0{,}6 \cdot 10^{10}} = 8{,}3 \cdot 10^{-17}$ sec. Während dieser Zeit bildet sich ein Viertel Wellenlänge im Äther mit der Lichtgeschwindigkeit $c = 3 \cdot 10^{10}$ cm · sec^{-1} aus. Es ist also $\lambda = \frac{4c \cdot d}{v} = 2c \cdot t = 4 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot 8{,}3 \cdot 10^{-17} = 1 \cdot 10^{-5}$ cm. In Wirklichkeit ist die Stosszeit wahrscheinlich noch kürzer, so dass die Wellenlänge unseres Röntgenstrahles sich noch kürzer ergibt.

Aus der Formel $\lambda = \frac{2c \cdot d}{v}$ ist zu ersehen, dass die Wellenlänge der Röntgenstrahlen um so kleiner ist, je grösser die Geschwindigkeit v der erzeugenden Kathodenstrahlen ist. Demgemäss geben verschiedenartige Röntgenröhren Röntgenstrahlen von verschiedener Wellenlänge aus, je nachdem die Elektrodenspannung verschieden gross ist, mit welcher sie arbeiten. Diese hängt vor allem unter sonst gleichen Umständen von dem Gasdruck ab. Je niedriger dieser ist, je höher die Röntgenröhre evakuiert ist, desto grösser ist die Elektrodenspannung, desto grössere

Spannungsdifferenzen durchlaufen in ihr die Kathodenstrahlen frei, desto kürzer ist die Wellenlänge der von ihnen ausgesandten Röntgenstrahlen. Röhren, welche mit kleiner Elektrodenspannung arbeiten und darum lange Röntgenstrahlen liefern, heissen weich; Röhren von grosser Elektrodenspannung und kurzen Röntgenstrahlen heissen hart.

§ 14.

Eigenschaften der Röntgenstrahlen.

Die Wellenlänge des gelben Natriumlichtes beträgt $5{,}89 \cdot 10^{-5}$ cm, diejenige des violetten Lichtes $3{,}9 \cdot 10^{-5}$ cm; über das Violett hinaus ist man im Ultraviolett bis jetzt mit besonderen Methoden bis zu der Wellenlänge $1{,}4 \cdot 10^{-5}$ cm vorgedrungen. Wie wir oben berechnet haben, liegt die Wellenlänge von Röntgenstrahlen, die mittels 40 000 Volt erzeugt wurden, noch unter $1 \cdot 10^{-5}$ cm.

Eine Reihe von Eigenschaften der Lichtstrahlen, wie Reflexion, Brechung, Beugung und Absorption, hängt ab von der Wellenlänge. Da wir die Röntgenstrahlen als unsichtbares Licht sehr kleiner Wellenlänge zu betrachten haben, so müssen wir Eigenschaften von ihnen erwarten, wie sie sich aus dem bekannten Verhalten gewöhnlicher Lichtstrahlen folgern lassen. So ist eine regelmässige Reflexion von Lichtstrahlen um so schwieriger zu erhalten, je kleiner die Wellenlänge wird, weil dann die Unebenheiten der reflektierenden Ebene im Verhältnis zur Wellenlänge um so grösser werden. In der Tat kann man bei Röntgenstrahlen keine regelmässige Reflexion beobachten.

Die Beugung von Wellen an den Rändern undurchlässiger Körper ist um so weniger leicht beobachtbar, je kleiner die Wellenlänge ist. Bei Röntgenstrahlen hat man mit einer subtilen Methode bis jetzt aber gerade eine Andeutung von Beugung erhalten können.

Metalle absorbieren langwelliges Licht sehr stark, vor allem deswegen, weil in ihnen zahlreiche Elektronjonen vorhanden sind, deren freie Weglänge klein ist gegen die einfallende Wellenlänge, die also kinetische Energie an ihre Umgebung abgeben, während sie von der einfallenden langen Welle hin- und hergeworfen werden. Je kürzer indes die Wellenlänge wird, desto geringer wird die Absorption durch die negativen Elektronen, desto durchsichtiger werden die Metalle. Dazu kommt, dass die von den gebundenen Elektronen der Atome ausgesandte Strahlung zumeist im sichtbaren Gebiet des Spektrums liegt. Beim Übertritt in das ultraviolette Gebiet und beim Eintritt in das Gebiet der Röntgenstrahlen müssen darum auch die stark absorbierenden Metalle mehr und

mehr durchsichtiger werden; es wird sowohl die Absorption durch die freien wie durch die gebundenen Elektronen geringer. Da die Absorption durch die im Atom gebundenen Elektronen charakteristisch ist für die chemische Eigenart der Atome, so wird bei sehr kleiner Wellenlänge die Absorption des Lichtes unabhängig von der Konstitution des absorbierenden Körpers.

Es ist nun allbekannt, dass die Röntgenstrahlen wenig absorbierbar sind; eben diese Eigenschaft hat sie allgemein bekannt gemacht. Und zwar sind sie um so weniger absorbierbar, je kleiner ihre Wellenlänge, je grösser also die Geschwindigkeit der sie erzeugenden Kathodenstrahlen oder mit anderen Worten, je härter die Röntgenröhre ist. Sie ist unabhängig von der chemischen Anordnung der Atome, sie ist nur mehr von dieser selbst abhängig, sie nimmt zu mit der spez. Dichte, also mit der Zahl der Atome in der Volumeneinheit, und wächst ausserdem mit dem Atomgewicht.

Zwei andere Eigenschaften haben die Röntgenstrahlen mit dem ultravioletten Licht gemeinsam. Wie dieses sind sie imstande beim Auffallen auf Metallflächen negative Elektronjonen oder Kathodenstrahlen frei zu machen. Ferner vermögen sie wie ultraviolettes Licht von der Länge $1{,}4 \cdot 10^{-1}$ cm aus neutralen Gasmolekülen negative Elektronen freizumachen und so das Gas leitfähig zu machen oder zu jonisieren.

Göttingen, November 1903.

Die radioaktiven Stoffe

nach dem

neuesten Stande der wissenschaftlichen Erkenntnis.

Von **Dr. Karl Hofmann,**

Professor an der Universität München.

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage.

gr. 8°. 76 Seiten. 1904. M. 2.—.

Da jetzt über die neuen Elemente und ihre Wirkungen sehr viel gearbeitet wird, ist diese Broschüre einem Bedürfnis entgegengekommen. Ein Beweis für die Brauchbarkeit dieses Werkchens ist der schnelle Verkauf der ersten starken Auflage, die bereits nach kurzer Zeit vergriffen war.

Elektrochemische Zeitschrift: Die merkwürdigen Erscheinungen der sogenannten Radioaktivität haben schon vor einigen Jahren, als Becquerel seine grundlegenden Arbeiten veröffentlichte, das Interesse der weitesten Kreise erregt, und die wissenschaftliche Erforschung derselben hat in kurzer Zeit eine große Anzahl neuer Tatsachen zutage gefördert, die uns erkennen lassen, daß wir heute am Beginn einer neuen Richtung in der Entwickelung unserer wissenschaftlichen Kenntnisse und Anschauungen stehen. Wenn es unter diesen Umständen der Verfasser unternommen hat, durch vorliegendes Werk die Kenntnisse von den radioaktiven Stoffen und ihren Wirkungen auch in den Kreisen zu verbreiten, die diesem Gebiete bisher fern gestanden, so hat er sich damit sicherlich eine sehr verdienstvolle Aufgabe gestellt. Das Werk enthält einen vollständigen Überblick über unser gesamtes Wissen von den Erscheinungen der Radioaktivität und zwar in kurzer, prägnanter Darstellung. Trotz dieser Kürze wird es jedoch auch für denjenigen von Nutzen sein, der sich eingehend über das vorliegende Gebiet unterrichten will, oder der es durch eigene Forschungen weiter auszubauen gedenkt. Es bietet nämlich in seinen Fußnoten eine äußerst vollkommene und sorgfältig zusammengestellte Literaturübersicht dar, auf Grund deren sich ein intensives Eingehen auf den Stoff ohne weiteres ermöglichen läßt.

Die Entwickelung der Materie enthüllt durch die Radioaktivität.

Wilde-Vorlesung, gehalten am 23. Februar 1904 in der Literary and Philosophical Society in Manchester.

Von **Frederick Soddy.**

Autorisierte Übersetzung von Prof. G. Siebert.

64 Seiten. 1904. M. 1.60.

Der bekannte Mitarbeiter des berühmten englischen Gelehrten Sir William Ramsay hat eine zeitgemäße Vorlesung gehalten, die in ihrer deutschen Übersetzung sich viele Freunde erwerben wird.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Breslau und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.

Heft 2.

Die Wärmestrahlung,

ihre Gesetze und ihre Wirkungen.

Von

Dr. Fritz Frankenhäuser,
Privatdozenten an der Universität zu Berlin.



Leipzig 1904.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. M. —.80.
Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. M. 1.20.
Heft 3: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel.
Heft 4: **Die Ionen-Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. L. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in **Breslau.**

Jährlich 12 Hefte. * **Abonnementspreis Mk. 12.—.**

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

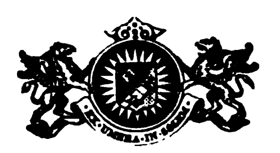
Heft 2.

Die Wärmestrahlung,

ihre Gesetze und ihre Wirkungen.

Von

Dr. Fritz Frankenhäuser,
Privatdozenten an der Universität zu Berlin.



Leipzig 1904.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Vorwort.

Die Behandlung Kranker durch Wärmestrahlung bildet heutzutage einen zwar noch wenig entwickelten und durchforschten, aber vielversprechenden Zweig der physikalischen Heilmethoden. Zu ihrer rationellen Weiterentwicklung müssen wir vor allem die Gesetze der Wärmestrahlung beherrschen. Nur diese können der Forschung auf diesem Gebiete einen sicheren Boden geben.

Nun finden sich aber gerade diese Gesetze in den Lehrbüchern zerstreut, teils in der Optik, teils in der Wärmelehre, teils in den Kapiteln über physikalische Chemie.

Der Verfasser hat versucht, in den folgenden Kapiteln dem Mediziner eine seinen Bedürfnissen angepasste Zusammenfassung der Lehre von der Wärmestrahlung zu geben. Er verfolgte dabei das Bestreben, möglichst wenige Formeln und wenig Ballast für das Gedächtnis zu geben, dagegen die besprochenen Vorgänge möglichst lebendig sich vor dem Auge des Lesers entwickeln zu lassen.

Vor allem galt es, die Einheitlichkeit des Gebietes der Wärme-, Licht und Ultraviolett-Strahlung einerseits, die Vielgestaltigkeit dieses grossen Gebietes anderseits zu betonen. So bildet diese Arbeit eine unmittelbare Ergänzung von des Verfassers früherer Arbeit „Das Licht als Kraft“.

Die Zitate verfolgen ausschliesslich den Zweck, den Leser anzuregen, einzelne Fragen weiter zu verfolgen und ihm die Mittel dazu an die Hand zu geben. Es sind daher meist die Darstellungen aus leicht zugänglichen guten Lehrbüchern zitiert und die Originalmitteilungen nur dann, wenn sie zu einem lebendigen Verständnis des Gegenstandes besonders geeignet oder notwendig erschienen.

Berlin, im Mai 1904.

Der Verfasser.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Die Wärme als strahlende Kraft. Allgemeine Strahlungsgesetze.

1. Die Wärme als Empfindung.

Unter **Wärme** verstehen wir ursprünglich eine besondere **Empfindung unserer Haut**. Diese Empfindung wird durch Gegenstände der Aussenwelt auf der Haut entweder dadurch hervorgerufen, dass sie in direkte **Berührung** mit der Haut geraten, ähnlich, wie das bei der Auslösung der Tastempfindung geschieht, oder sie wird dadurch hervorgerufen, dass ein oft sehr weit entfernter Körper (z. B. die Sonne) durch Strahlung auf die Haut wirkt, ähnlich wie das bei der Lichtempfindung geschieht.

2. Die Wärme als Kraft.

Den Begriff „Wärme" hat man aber auch in wissenschaftlichem Sinne auf die **Ursachen** dieser eigenartigen Empfindung übertragen. „Wärme" in **physikalischem** Sinne ist daher eine **Kraft**, welche zwar dadurch für uns charakterisiert ist, dass sie bei uns „Wärmeempfindung" erregt, welcher jedoch ausserdem eine Anzahl höchst wichtiger anderer Eigenschaften und Wirkungen zukommen. Die physikalische Prüfung dieser Eigenschaften hat eine so nahe Verwandtschaft der „Wärme" zu einer Reihe anders benannter Kräfte ergeben, dass heutzutage die Abtrennung dieser Kräfte von einander und ihre Behandlung in ganz getrennten Kapiteln der Physik höchst willkürlich erscheinen muss.

3. Die Materie in ihren Beziehungen zu den Kräften.

Aller Materie sind gewisse Eigenschaften gemeinsam.

Die Materie vermag:

1. Kräfte in sich aufzunehmen (zu absorbieren),
2. solche absorbierte Kräfte an die Nachbarmaterie weiterzugeben (zu leiten),
3. solche absorbierte Kräfte in andere gleichwertige Kräfte umzuwandeln,
4. Kräfte an den Äther abzugeben (zu strahlen).

Diese Vorgänge beobachten wir als Veränderungen, welche die Kräfte am Zustande der Materie erzeugen. Es gehört zu den allgemeinen Eigenschaften der Materie, sich unter dem Einflusse der Kräfte zu verändern und ihrerseits die Qualität der Kräfte zu verändern.

Die speziellen charakteristischen Eigenschaften der verschiedenen Substanzen beruhen darauf, dass sie sich verschieden verhalten in bezug auf die Absorption, Leitung, Umwandlung und Strahlung verschiedener Kräfte. Aus diesem verschiedenen Verhalten zur mechanischen, elektrischen und chemischen Energie, zu Licht und Wärme ergeben sich die Merkmale, an denen wir die verschiedenen Substanzen erkennen und von einander unterscheiden; so der Aggregatzustand, die Farbe, die chemische Reaktion, das Leitungsvermögen für Elektrizität, Wärme usw.

4. Der Äther, seine Beziehungen zu den Kräften und zur Materie. (1, 2, 3, 4.)*)

Die mechanische und wohl auch die chemische Energie sind in ihrer Existenz an die Materie gebunden. Ausserhalb derselben vermögen sie nicht zu bestehen und sich fortzupflanzen. Die sogenannten strahlenden Kräfte (Elektrizität, Wärme, Licht) jedoch vermögen sich nicht nur der Materie, sondern auch dem Äther mitzuteilen, welchen wir uns als allgegenwärtig, innerhalb aller Materie sowohl als auch innerhalb des sogenannten leeren Raumes, vorstellen. Und sein Vorhandensein äussert sich eben in seinem Verhalten zu den strahlenden Kräften.

a) Der Äther vermag die strahlenden Kräfte geradlinig durch den sogenannten leeren Raum fortzupflanzen mit einer Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde (Strahlung), und zwar durch transversale, wellenförmige Schwingungen, deren Wellenlänge und Schwingungsdauer für die einzelnen Gruppen der strahlenden Kräfte (strahlende Elektrizität, strahlende Wärme, Licht) charakteristisch sind.

b) Der Äther vermag auch innerhalb der Materie diese Kräfte fortzupflanzen. Die Art der Materie beeinflusst die Richtung, Geschwindigkeit und Energie dieser Strahlung.

c) Der Äther vermag da, wo er mit der Materie in Berührung kommt, die Energie seiner Strahlung ganz oder teilweise auf die Materie zu übertragen und diese hierdurch in Mitschwingung zu versetzen. Hierauf beruht die Absorption der strahlenden Kräfte durch die Materie.

d) Der Äther vermag umgekehrt von der Materie strahlende Kräfte aufzunehmen, um sie wiederum geradlinig mit einer Geschwindigkeit von

*) Die Zahlen beziehen sich auf die Literaturnachweise am Schluss der Arbeit.

300 000 km in der Sekunde fortzupflanzen. Hierauf beruht die Emission der strahlenden Kräfte. Man sagt dann: die Materie erregt Strahlung. Ueberall, wo die Materie Strahlung erregt, muss sie Kraft abgeben, überall, wo sie Strahlung absorbiert, muss sie Kraft aufnehmen. Kraft kann nicht verloren gehen und kann auch nicht aus Nichts entstehen. (Gesetz von der Erhaltung der Kraft.) (5, 6.)

Der Äther ist imstande, elektrische, thermische und optische Wellen strahlender Kräfte von beliebiger Länge und Schwingungsdauer fortzupflanzen. Die verschiedenen Substanzen dagegen sind, je nach ihrer Eigenart, zu manchen Schwingungen befähigt, zu anderen nicht. Diejenigen Schwingungen, für welche eine Substanz befähigt ist, vermag sie sowohl zu absorbieren, als auch selbst auszustrahlen. (Kirchhoffsches Gesetz. (7, 8, 9.)

Man kann diesen Vorgang mit einem akustischen vergleichen. Wenn verschiedenartige Schallwellen auf ein System von Saiten treffen, so absorbiert jede Saite solche Wellen, welche ihren eigenen Schwingungsverhältnissen entsprechen (auf welche sie „gestimmt" ist) und schwingt mit. Die anderen Schwingungen gehen wirkungslos vorüber (10).

5. Die allgemeinen Strahlungsgesetze.

Aus diesem Verhalten der strahlenden Kräfte zum Äther einerseits, zur Materie andererseits, ergeben sich sowohl diejenigen Eigenschaften, welche allen Formen der strahlenden Kräfte gemeinsam sind, als auch diejenigen, wodurch sich die einzelnen Formen voneinander unterscheiden. Allen gemeinsam sind die Gesetze, nach welchen sie sich im Äther fortpflanzen. Dagegen ist die Art, wie sie von den einzelnen Arten der Materie aufgenommen, weitergegeben und umgesetzt werden, streng genommen für jede einzelne Strahlengattung und jede Materie verschieden.

Die allgemein gültigen Strahlungsgesetze können ohne weiteres als eine Verallgemeinerung der Optik aufgefasst werden, der Lehre von der Lichtstrahlung, welche zuerst und am ausgiebigsten wissenschaftlich erforscht wurde, weil sie im höchsten Grade unmittelbar übersichtlich ist. (11.)

6. Der Umfang der strahlenden Kräfte.

Mit welcher Wellenlänge die strahlenden Kräfte tatsächlich anfangen, mit welcher sie aufhören, wissen wir nicht. Wir kennen Wellen von mehr als 5000,0 mm Länge (elektrische Wellen), wir kennen solche von 0,0001 mm Länge (Ultraviolette Wellen) und dazwischen kennen wir eine Unzahl von Abstufungen, deren Lücken sich mehr und mehr schliessen. Die strahlende Kraft aller Wellenlängen pflanzt sich mit

derselben Geschwindigkeit im Aether fort, und zwar mit der Geschwindigkeit von 300000 km in der Sekunde. (Für das Licht nachgewiesen von Olaf Roemer 1675.)

Zwischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit (c), Wellenlänge λ und Anzahl der Schwingungen in der Sekunde (Schwingungszahl) n besteht das Verhältnis

$$c = \lambda . n.$$

Die Schwingungszahl ergibt sich also bei bekannter Wellenlänge, da die Fortpflanzungsgeschwindigkeit bekannt ist.

7. Die Zusammensetzung der Strahlung.

Die Gesamtheit der von einem Punkte aus nach allen Richtungen sich verbreitenden strahlenden Kräfte nennt man seine Strahlung; die längs einer geraden Linie erfolgende Ausbreitung nennt man einen Strahl. Die Strahlung eines Punktes ist also die Summe seiner Strahlen.

Die Strahlen verschiedener Strahlungsquellen unterscheiden sich von einander nach Quantität und Qualität. Die meisten Strahlen sind ein Gemisch von sehr verschiedenen Wellenlängen. So strahlt z. B. ein weissglühender Körper Wärme und Lichtstrahlen aller Wellenlängen aus. Einen Strahl, welcher nur Wellen von ein- und derselben Wellenlänge enthält, nennen wir einen homogenen Strahl, und wir sprechen dementsprechend von homogenem Lichte, homogener Wärme.

Die meisten Strahlen, gleichgültig ob homogen oder nicht, enthalten Wellen, welche nicht nur in einer, sondern in allen Ebenen transversal zur Strahlenrichtung schwingen, so dass der Durchschnitt der Strahlen nicht eine gerade Linie, sondern eine Kreisfläche darstellen würde. Manche Körper jedoch senden Strahlen aus, deren Wellen nur in einer Richtung senkrecht zur Strahlenrichtung schwingen. (Kalkspath, strahlende Elektrizität 11.) Auch sind manche Vorrichtungen imstande, nur die in einer Richtung schwingenden Wellen der Strahlen durchzulassen, während die andern Wellen absorbiert werden (Nicolsches Prisma, Drahtgitter). Wir nennen solche Strahlen polarisierte Strahlen.

Stellen wir uns einen homogenen polarisierten Strahl vor, so haben wir eines der Individuen vor uns, aus denen sich jede Strahlung zusammensetzt, und von deren Zahl und Art allein der Charakter der Strahlung abhängt.

Ein homogener, vollkommen polarisierter Strahl ist ein Strahl von bestimmter einheitlicher Wellenlänge und bestimmter einheitlicher Schwingungsebene. Seine Intensität ist gleich dem Quadrat seiner Wellenhöhe (Amplitude).

Die Intensität eines nicht homogenen polarisierten Strahles ist gleich der Summe der Intensitäten aller einzelnen homogenen polarisierten Strahlen, welche diesen zusammensetzen.

Die Intensität eines nicht polarisierten Strahles ist gleich der Summe der Intensitäten aller polarisierten Strahlen, welche diese zusammensetzen.

Die Intensität der Strahlung ist gleich der Summe aller Strahlen, welche diese zusammensetzen.

8. Das geometrische Gesetz.

Hieraus ergibt sich das Gesetz: Die Intensität der Bestrahlung, welche eine gegebene Fläche empfängt, ist umgekehrt proportional dem Quadrate ihrer Entfernung von der Strahlenquelle.

Denn dieselbe Menge von Strahlen, welche in der Entfernung von 1 m von der Lichtquelle die Fläche a^2 bestrahlt, verteilt sich in der Entfernung von 2 m auf eine Fläche von der Grösse $(2a)^2 = 4a^2$, bei einer Entfernung von 3 m auf eine Fläche von $(3a)^2 = 9a^2$ usf. wie eine einfache geometrische Betrachtung leicht ergibt.

9. Veränderungen der Strahlung durch die Materie.

Während die Strahlen auf ihrem Wege durch den luftleeren Raum keine erkennbaren Veränderungen erleiden, sind sie da, wo sie Materie durchsetzen, Veränderungen ausgesetzt, welche ihre Geschwindigkeit, ihre Richtung, ihre Intensität und ihre Zusammensetzung betreffen.

Nur von theoretischem Interesse ist die Verlangsamung, welche die Strahlen in der Materie erleiden. Ebenso bietet die Drehung der Strahlen um ihre Axe (Torsion), welche sie in manchen Substanzen erleiden (z. B. in Traubenzucker die Lichtstrahlen), ein nur theoretisches Interesse.

10. Ablenkung der Strahlen.

Von grosser praktischer Bedeutung sind aber die Richtungsveränderungen, welche die Materie an den Strahlen hervorruft. Sie geben zu folgenden wichtigen Erscheinungen Veranlassung:

a) Reflexion (Rückstrahlung). Die auf die Oberfläche der Körper auffallenden Strahlen werden, soweit sie von dem Körper nicht verschluckt oder durchgelassen werden, von diesem Körper zurückgeworfen, etwa wie ein Billardball von der elastischen Bande. Der zurückgeworfene (reflektierte) Strahl liegt in der Ebene, welche der einfallende Strahl und das Einfallslot (eine Linie, die an der Einfallsstelle senkrecht zur Oberfläche der reflektierenden Körper gedacht ist) miteinander bilden. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel. Bei Körpern, welche die Strahlen bestimmter Wellenlängen verschlucken, wird die Zusammen-

setzung der Strahlung bei der Reflexion (selektive Reflexion) verändert. Daher stammen alle Farbwirkungen, welche die nicht selbst leuchtenden Gegenstände auf unser Auge im auffallenden Lichte ausüben; aber genau dieselben Vorgänge beobachtet man auch im Gebiete der unsichtbaren Strahlung, insbesondere der strahlenden Wärme.

Unter gewissen Umständen wird nur die in einer Ebene schwingende Strahlung reflektiert. Der reflektierte Strahl ist dann polarisiert (Polarisation durch Reflexion). Ist die Oberfläche der reflektierenden Körper rauh, so wird der Einfalls- und Reflexionswinkel an den einzelnen Stellen ganz verschieden und die reflektierten Strahlen werden demnach aus ihrer Richtung regellos hinausgeworfen und zerstreut (unregelmässige Reflexion). Ist jedoch die Oberfläche der reflektierenden Körper glatt (spiegelnd), so behalten die reflektierten Strahlen die Reihenfolge der auffallenden; ist die Oberfläche der reflektierenden Körper spiegelnd und zugleich von bestimmter regelmässiger Gestalt (kugel- und kegelförmig), so entstehen diejenigen regelmässigen Ablenkungen (Konzentration, Zerstreuung, Kreuzung), welche bei Brennspiegel, Reflektoren usw. ihre praktische Verwendung finden.

b) Diffraktion (Beugung) der Strahlung (12) spielt hauptsächlich in der Optik eine Rolle. Lässt man Strahlen auf eine sehr enge Spalte fallen, so werden sie jenseits der Spalte derart von ihrer Richtung abgelenkt, dass sie nunmehr einen Strahlenkegel bilden. Die Strahlen werden in der Spalte gebeugt, und zwar die langwelligen mehr als die kurzwelligen. Der Vorgang wird zur Herstellung eines bestimmten Spektrums benutzt, des Beugungs- oder Gitterspektrums (13).

c) Refraktion (Brechung). Diejenigen, auf die Oberfläche eines Körpers auffallenden Strahlen, welche weder auf der Oberfläche reflektiert, noch im Innern des Körpers absorbiert werden, durchsetzen den Körper geradlinig. An der Stelle ihres Eintritts in den Körper werden sie aber, falls sie nicht senkrecht einfallen, von ihrer ursprünglichen Richtung abgelenkt (gebrochen). Der gebrochene Strahl liegt in der Ebene, welche der einfallende Strahl und das Einfallslot miteinander bilden. Der Brechungswinkel (welchen der gebrochene Strahl mit dem Einfallslot bildet) kann grösser oder kleiner sein als der Einfallswinkel (welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet). Das hängt von den Eigenschaften der beiden Medien ab, aus welchen die Strahlung kommt und in welche sie übergeht. Wird bei Übergang eines Strahles aus einem Medium in ein zweites Medium der Brechungswinkel kleiner als der Einfallswinkel, so nennen wir das erste Medium das schwächer brechende, das zweite Medium das stärker brechende und umgekehrt.

Ist der brechende Körper von zwei nicht parallelen Ebenen begrenzt (ein Keil, ein Prisma), so erhalten alle durch ihn hindurchtretenden gleichartigen Strahlen eine gleichmässige Ablenkung. Sind die Flächen der brechenden Körper kugelförmig, so entstehen diejenigen regelmässigen Ablenkungen (Konzentration, Zerstreuung, Kreuzung) der austretenden Strahlen, wie sie bei den Linsen (Brenngläsern) ihre praktische Verwertung finden.

d) Dispersion (Zerstreuung). Wir haben soeben gesagt, dass durch ein Prisma alle gleichartigen austretenden Strahlen eine gleichmässige Ablenkung erfahren. Die hervorgehobene Einschränkung hat ihre Ursachen in einer für alle Strahlenforschung höchst wichtigen Eigentümlichkeit der Strahlenbrechung. Es werden nämlich die Strahlen desto stärker abgelenkt, je kleiner ihre Wellenlänge ist. Wenn man z. B. das Bild einer linienförmigen homogenen Lichtquelle durch ein Prisma betrachtet, so erhält man ein linienförmiges deutliches Bild, dieser Lichtquelle. Wenn man aber ebenso das Bild einer linienförmigen nicht homogenen, weissen Lichtquelle betrachtet, so erhält man kein deutliches linienförmiges Bild der Lichtquelle, sondern statt dessen ein breites Band, welches die Regenbogenfarben rot, orange, gelb, grün, blau, violett mit allen Abstufungen erkennen lässt. (Spektrum.) Ganz dasselbe Verhalten zeigen jedoch auch alle unsichtbaren Strahlen, Wärmestrahlen, ultraviolette und elektrische Strahlen. Die Fortsetzung des sichtbaren Spektrums bildet daher ein unsichtbares Spektrum, dessen Existenz durch physikalische Hilfsmittel nachweisbar ist. Derjenige Teil des unsichtbaren Spektrums, welcher die Strahlen enthält, die eine grössere Wellenlänge haben, als das Licht, schliesst sich an den roten Teil des sichtbaren Spektrums an. Man nennt daher diese Strahlen auch ultrarote Strahlen. Derjenige Teil des unsichtbaren Spektrums, welcher die Strahlen enthält, welche eine kleinere Wellenlänge haben, als das Licht, schliesst sich unmittelbar an den violetten Teil des Spektrums an, man nennt daher diese Strahlen auch ultraviolette Strahlen.

Diese Erscheinung ist deshalb von grosser praktischer Bedeutung, weil sie es uns ermöglicht, die Zusammensetzung der verschiedensten Strahlen, den Einfluss, welchen die verschiedenen Wellenlängen auf die Materien, und den Einfluss, welchen die Materien auf die Strahlen bei der Reflexion und Absorption üben, zu analysieren. (Spektralanalyse.)

11. Die Absorption der Strahlung durch die Materie.

Von der grössten praktischen Bedeutung für die Wirkungen der strahlenden Kräfte auf die Materie ist jedoch der Vorgang der Absorption

dieser Kräfte durch die Materie. Manche Substanzen sind in hohem Grade durchlässig für Wellen der strahlenden Energie (dielektrische, diathermane, diaphane Stoffe) wie z. B. die reine atmosphärische Luft. Andere Stoffe wieder sind in hohem Grade undurchlässig für die Strahlung (adielektrische, adiathermane, adiaphane Stoffe), das heisst, sie absorbieren die strahlenden Kräfte, wie z. B. die Metalle. Der Grad der Durchlässigkeit ist für die verschiedenen Stoffe gegenüber jeder einzelnen Strahlengattung sehr verschieden. Manche Substanzen bieten der Strahlung überhaupt einen sehr geringen oder aber einen sehr grossen Widerstand, wie die soeben genannten. Andere wieder absorbieren die eine Strahlengattung sehr stark, eine andere sehr wenig (selektive Absorption; Poikilodiaphanie, Poikilodiathermansie; Thermochrose).

12. Die Wirkung der Strahlung auf die Materie.

Nach dem Gesetze von der Erhaltung der Kraft kann die Energie der von der Materie absorbierten Strahlung nicht verloren gehen, sondern muss in der Materie gleichwertige Mengen anderer Energieformen entwickeln. Mit andern Worten: Stoffe, welche strahlende Kräfte absorbieren, erleiden dadurch eine Veränderung ihres Zustandes; sie reagieren auf die Strahlung; die Strahlung wirkt auf sie ein. Welcher Art die eintretende Wirkung ist, hängt von der Eigenart der absorbierten Strahlung einerseits, des absorbierenden Mediums andrerseits ab. Bei weitem am häufigsten scheint Wärme aus der absorbierten Strahlung gebildet zu werden. Aber auch elektromotorische Wirkungen, mechanische Arbeit und chemische Umwandlungen können durch solche Fernwirkungen der strahlenden Kräfte hervorgerufen werden.

13. Die Eigenarten der verschiedenen strahlenden Kräfte.

Wir kennen den Umfang nicht, welchen ein ideales Spektrum haben würde, das Strahlen aller existierender Wellenlängen enthielte. Wir kennen aber Strahlen von mehreren Metern Wellenlänge, welche nach dem augenblicklichen Stande unserer Kenntnisse den äussersten ultraroten Flügel des Spektrums bilden, und wir kennen Strahlen von 0,0001 mm Wellenlänge, welche den äussersten ultravioletten Flügel des uns zurzeit bekannten Spektrums bilden. Dazwischen sind uns eine grosse Menge von Abstufungen bekannt, die allerdings durchaus nicht lückenlos sind. Die uns bekannten Strahlungen fassen wir am richtigsten in zwei Gruppen zusammen:

1. Die elektrische Strahlung umfasst die grössten, uns zurzeit bekannten Wellenlängen. Wir kennen elektrische Wellen von 5 m und

mehr bis zu 75,0 mm und weniger Länge. Auf ihnen beruhen die Fernwirkungen der Elektrizität, die Induktion, die Funkentelegraphie. Dass die elektrische Kraft den optischen Strahlungsgesetzen untersteht, wurde von Hertz (11) experimentell nachgewiesen.

2. Die gemeinsame Gruppe der Wärme- und Lichtstrahlung ist von der vorhergehenden durch ein grosses unbekanntes Gebiet getrennt. Sie ist zurzeit begrenzt durch die längsten bekannten ultraroten Wellen von 0,06 mm Länge und die kürzesten bekannten ultravioletten Wellen von 0,0001 mm Länge.

Sie bildet physikalisch ein vollkommen geschlossenes und einheitliches Gebiet. Aus demselben ist rein willkürlich der Bezirk „Licht" (0,00068—0,000 33 mm Wellenlänge) wegen seiner physiologischen Wirksamkeit auf das menschliche Auge herausgehoben. Das Gebiet der Wellen, welche länger sind, als die längsten sichtbaren Wellen, nennen wir das ultrarote, das Gebiet der Wellen, welche kürzer sind als die kürzesten sichtbaren Wellen, nennen wir das ultraviolette Gebiet. Tatsächlich bilden aber alle drei Gebiete eine ununterbrochene Reihe verschiedener Wellenlängen. Und das Gebiet des sichtbaren Spektrums ist nichts anderes als eine recht kleine Provinz des grossen Spektrums der Wärmestrahlung. Wir werden daher in folgendem an dieser Zusammengehörigkeit festhalten, und können die Lichtstrahlen als sichtbare Wärmestrahlen, die übrigen Wärmestrahlen als unsichtbare bezeichnen.

II. Die besonderen Bedingungen für die Wärmestrahlung.

14. Licht- und Wärmestrahlung sind nun zwar insofern identisch, als das Gebiet der Lichtstrahlung nichts anderes darstellt als einen kleineren Abschnitt aus dem grossen Gebiete der Wärmestrahlung. Wir können daher die Gesetze und Beobachtung, welche uns die Photophysik, die Photochemie, die Photophysiologie und die Phototherapie bringen, ohne weiteres als gültig für ein gewisses Gebiet der Wärmestrahlung annehmen. Wir werden uns oft der bei den Lichtstrahlen gewonnenen Erfahrung zum besseren Verständnis der Wärmestrahlung bedienen. Die Wärmestrahlung besitzt aber darüber hinaus noch eine viel grössere und allgemeinere Bedeutung als die Lichtstrahlung.

15. Die Ursachen der Wärmestrahlung.

Alle Gase, Flüssigkeiten und festen Körper unserer Umgebung, kurz alle uns bekannte Materie, erregt fortwährend Wärmestrahlung. Wir kennen kein Medium, welches keine Wärme ausstrahlte.

Als Ursachen dieser Erscheinung denken wir uns nach der mechanischen Wärmetheorie (14) die Moleküle aller Materie in ständiger Bewegung begriffen. Diese Bewegung ist bei den Molekülen innerhalb der Gase in der Regel als unbehindert geradlinig zu denken. Innerhalb der flüssigen und festen Körper ist sie infolge der grossen Dichtigkeit der Moleküle mehr behindert, so dass wir uns in den letzteren die Moleküle um eine gewisse Gleichgewichtslage sich bewegend vorstellen müssen.

Diese Bewegung der Moleküle stellt eine gewisse Energie dar (kinetische Energie, lebendige Kraft der Moleküle), und diese Energie ist es eben, was wir als „Wärme" empfinden. Je wärmer ein Körper ist, eine desto grössere lebendige Kraft besitzt die Bewegung seiner Moleküle und das Mass für die durchschnittliche kinetische Energie der Moleküle eines Körpers stellt seine Temperatur dar. Wenn zwei Körper verschiedener Temperaturen einander berühren, so geben die Molekülen des einen kinetische Energie an die benachbarten des zweiten kühleren ab, und diese dann wiederum ihrerseits an ihre Nachbarmoleküle. Hierauf beruht der Vorgang der Wärmeleitung. Andererseits teilt sich aber auch diese Energie der Moleküle dem Äther mit und wird von diesem in transversalen Wellen mit einer Geschwindigkeit von 300 000 km in der Sekunde geradlinig fortgepflanzt. Hierauf beruht der Vorgang der Wärmestrahlung.

16. Der absolute Nullpunkt.

Da alle Körper Wärmestrahlung zeigen, muss man auch allen Molekülen einen gewissen, je nach der Temperatur verschiedenen Grad von kinetischer Energie zuschreiben. Theoretisch kann man sich jedoch einen Zustand denken, wo diese Energie gleich Null wird, wo also die Materie keinen Gehalt an Wärme mehr hat. Man berechnet sogar die Temperatur, bei welcher dieser Zustand eintreten müsste, auf Grund des Mariotte-Gay-Lussacschen Gesetzes auf — 273° C. und nennt dieselbe, bei welcher alle kinetische Energie der Moleküle, also alle Wärmeenergie verschwunden sein müsste, den absoluten Nullpunkt. Die Temperaturen, welche vom absoluten Nullpunkte aus in Celsiusgraden aufwärts rechnen, nennt man absolute Temperaturen.

Ein Körper von der absoluten Temperatur Null würde also keine lebendige Kraft seiner Moleküle, keine Wärme besitzen und daher auch kein Wärme-Strahlenvermögen.

17. Das absolute und relative Strahlungsvermögen.

Sobald wir einem solchen Körper, sei es durch Berührung mit einem warmen Körper, sei es durch Strahlung, sei es sonstwie Wärme mitteilen,

beginnt er auch Wärme auszustrahlen. Die Wärmemenge, welche bei einer gegebenen Temperatur pro Quadrat-Zentimeter ausgestrahlt wird, ist abhängig von der Natur des strahlenden Körpers, insbesondere seiner Oberfläche. Unter dem absoluten Strahlungs- oder Emissionsvermögen (σ) eines Körpers verstehen wir diejenige Wärmemenge, welche von einem Quadrat-Zentimeter seiner Oberfläche bei einer absoluten Temperatur von 1° C. in einer Sekunde gegen einen Raum von der absoluten Temperatur Null ausgestrahlt werden würde.

Leslie (15) verglich zuerst in exakter Weise das relative Emissionsvermögen verschiedener Körper. Russ ergab das höchste Emissionsvermögen. Wurde dies = 100 gesetzt, so ergab sich für andere Körper:

Russ = 100	Rauhes Blei = 45
Papier = 98	Quecksilber = 20
Siegellack = 95	Blankes Blei = 19
Crownglas = 90	Poliertes Eisen = 15
Tusche = 88	Kupfer = 12.
Eis = 85	

Das Strahlungsvermögen ein und derselben Substanz ändert sich jedoch mit der Beschaffenheit der Oberfläche. Je dichter und glatter diese ist, desto geringer, je rauher und lockerer sie ist, desto grösser ist das Strahlungsvermögen. Wir sehen dies an den Zahlen für glattes und rauhes Blei. Doch ist eine gewisse Dicke der strahlenden Schicht nötig, um die Strahlung voll zu entfalten, da auch aus dem Innern Strahlung hervordringt (16).

18. Das Stefansche Gesetz.

Wenn man das absolute Strahlungsvermögen (σ) der Körper berücksichtigt, so nimmt jedoch die von einem Körper bei steigender Temperatur ausgestrahlte Wärmemenge (Q) in ganz gesetzmässiger Weise zu. Sie ist nämlich proportional der 4. Potenz der absoluten Temperatur (T) der Körper.

$Q = \sigma T^4$ (Stefansches Gesetz 17).

Ein Körper von absolutem Strahlungsvermögen = 1 würde also beim Gefrierpunkt des Wassers (= 273° C. absoluter Temperatur) $Q = (273)^4$, bei Gefrierpunkt des Wassers (= 373° C. absoluter Temperatur) $Q = (373)^4$ und bei der Temperatur der Weissglut $Q = (2443)^4$ Einheiten ausstrahlen.

19. Qualitative Unterschiede.

Die Gesamtmenge (Q) der Strahlung eines Körpers ist also abhängig 1. von der Natur und Oberfläche des strahlenden Körpers (σ), 2. von seiner Temperatur. Und wenn wir eine Strahlung in ihre verschiedene

Spektralbezirke auflösen, und deren Intensitäten einzeln messen, so können wir auch die Vorgänge im einzelnen verfolgen, welche dem Stefanschen Gesetze $Q = \sigma T^4$ zugrunde liegen.

Was zunächst das spezifische Strahlungsvermögen eines gegebenen Körpers anbetrifft, so zeigt dieses Strahlungsvermögen eine spezifische, für jede Substanz charakteristische spektrale Zusammensetzung.

Am deutlichsten tritt dies bei den Gasen hervor. Gase besitzen im Vergleich zu festen und flüssigen Körpern ein äusserst geringes spezifisches Strahlungsvermögen. Dass kommt daher, dass sie in der Regel nicht etwa alle möglichen Wellenlängen des Wärmespektrums, sondern überhaupt nur einzelne wenige, stark begrenzte Wellenlänge zu schwingen und dem Äther mitzuteilen vermögen. Wir nehmen an, dass in Gasen, infolge der grossen Freiheit, welche die Moleküle besitzen, diese nur diejenigen Schwingungen ausführen, zu welchen sie am besten befähigt sind. Das Emissionsspektrum der Gase, das Wärmespektrum sowohl wie das leuchtende, ist daher ein Linienspektrum, das heisst es besteht aus wenigen, für die einzelnen Gase ganz charakteristischen Linien.

Dies gilt wenigstens für Gase unter dem normalen Atmosphärendruck. Unter steigendem Druck verändert sich jedoch das spezifische Emissionsvermögen aller Gase wesentlich (18). Als Beispiel diene das sichtbare Spektrum des Wasserstoffes. Bei Atmosphärendruck zeigt glühender Wasserstoff schwaches Licht, das spektral in drei scharfe Linien zerfällt, $H\alpha$ entsprechend der Fraunhoferschen Linie C im Rot, $H\beta$ entsprechend der Fraunhoferschen Linie F im Blaugrün und $H\gamma$ entsprechend der Fraunhofer'schen Linie G im Blauviolett. Bei zunehmendem Druck dehnen sich diese Linien immer mehr zu breiten Bändern aus (Bandenspektrum) und schliesslich wandelt sich das Bandenspektrum in ein kontinuierliches Spektrum, das heisst die Strahlung, welche bei niederem Drucke nur einzelne eng begrenzte Wellenlängen führte, führt bei hohem Druck alle Wellenlängen gleichzeitig. Bei 1260 mm Quecksilberdruck ist das ganze Spektrum wahrhaft blendend. Wir sehen also hier bei ein und derselben Substanz mit Zunahme des Druckes, also mit Zunahme der Dichte der Moleküle eine entsprechende Zunahme des spezifischen Strahlungsvermögens, welche auf einer Ausbreitung des spektralen Strahlungsvermögens beruht. Wir erklären uns diesen Umstand so, dass bei zunehmender Dichte die Moleküle sich gegenseitig mehr und mehr in ihrer Eigenbewegung stören, dass sie sich aneinander reiben, so dass zu den Schwingungen, zu denen sie am meisten befähigt sind, mehr und mehr solche kommen, zu welchen sie erst durch Kollisionen veranlasst werden und dass sie nun auch diese an den Äther abgeben.

Daraus erklärt sich das verschiedene Verhältnis in der Emission von Gasen und Dämpfen einerseits, von Flüssigkeiten und festen Körpern andererseits. Während die ersteren unter Atmosphärendruck Linien- oder Bandenspektren geben, geben die letzteren kontinuierliche Spektren. Während die ersteren im allgemeinen schlechte Strahler sind, sind die letzteren im allgemeinen gute Strahler. Allerdings ist das spezifische Strahlungsvermögen für die verschiedenen Angehörigen der beiden Klassen sowohl im ganzen, als auch für die verschiedenen Spektralbezirke sehr verschieden, aber dieser grundsätzliche Unterschied bleibt im grossen ganzen bestehen.

Insofern ist also die Emission eines strahlenden Körpers von seiner Natur (σ) abhängig. Aber auch von seiner Temperatur ist nicht nur die Menge, sondern auch die Qualität seiner Strahlung abhängig.

Gehen wir wiederum von dem theoretischen absoluten Nullpunkte aus und denken wir uns wiederum dem betrachteten Körper allmählich mehr und mehr Wärme zugeführt, so würde die erste minimale Wärmemenge sich dadurch betätigen, das sie eine Strahlung von ausserordentlich langen langsam schwingenden Wellen hervorrufen würde. Bei steigender Temperatur würden diese Wellen an Intensität zunehmen, gleichzeitig jedoch würden mehr und mehr kürzere schneller schwingende Wellen entstehen (19). Für jede Temperatur besitzt eine andere Wellenlänge das Maximum der Emission. So rückt, wenn wir uns die Strahlung der Körper spektral zerlegt denken, das Strahlungsmaximum sowohl, als auch die Grenze der Strahlung bei steigender Temperatur mehr und mehr nach der Richtung der stark brechbaren, kurzwelligen Strahlung und zwar so, dass die Emission derselben Wellenlänge im allgemeinen für alle Körper bei derselben Temperatur beginnt. Dem Auge unmittelbar wahrnehmbar wird dieser Vorgang, wenn die Temperatur des strahlenden Gegenstandes die Höhe von zirka 525° C. überschreitet (20,21). Denn dann beginnt der Körper Lichtstrahlen auszusenden, erst langwellige rote, bei steigender Temperatur auch orange, dann auch gelbe, grüne, blaue, violette und schliesslich ultraviolette in steigender Menge.

Für bestimmte Temperaturen sind also bestimmte Wellenlängen als Maxima sowohl wie auch als äusserste Grenze nach der Seite der kurzwelligen Strahlen hin charakteristisch.

20. Die Absorption der strahlenden Wärme durch die Materie.

Wir haben uns nun klar gemacht, in welcher Weise die Wärmestrahlung zustande kommt, das heisst, in welcher Weise die Materie Wärmeenergie ihrer Moleküle in der Form von Wärmewellen an den

Äther abgibt. Die Moleküle der Materie sind nun aber, wie wir oben gesehen haben, nicht nur befähigt lebendige Kraft an den Äther abzugeben und dadurch Strahlung zu erregen, sie sind auch umgekehrt befähigt, die Energie der Ätherwellen an sich zu reissen, zu absorbieren und dadurch selbst einen höheren Gehalt an Energie zu erlangen. Mit andern Worten: alle Materie absorbiert strahlende Wärme. Um nun diesen Vorgang und seinen innigen Zusammenhang mit dem Wärmestrahlungsvermögen (Emissionsvermögen) der Substanzen klar zu machen, brauchen wir am besten ein unmittelbar zu den Sinnen sprechendes Bild aus der Akustik (22). Wenn Schallwellen auf ein System von Saiten wirken, so absorbiert jede Saite solche Schallwellen, welche ihren eigenen Schwingungsverhältnissen entspricht, und schwingt mit. Die anderen Schallwellen gehen unwirksam vorüber. Setzen wir an Stelle der schwingenden Saite die Wärmeschwingungen der Moleküle, an Stelle der Schallwellen der Luft die Wärmewellen des Äthers, so haben wir zugleich ein Bild des Verhältnisses zwischen Wärmeemissionsvermögen und Wärmeabsorptionsvermögen der Substanzen und ein Bild der Ursachen dieser Verhältnisse. Jeder Körper absorbiert diejenigen Wärmestrahlen am leichtesten, welche er am leichtesten selbst auszustrahlen vermag; Strahlen, welche ein Körper nicht selbst auszustrahlen vermag, vermag er auch nicht zu absorbieren; ein Körper, welcher ein starkes Wärmestrahlungsvermögen besitzt, besitzt auch ein starkes Wärmeabsorptionsvermögen. In diesen Sätzen liegen die Grundregeln, welche die Absorption der Wärmestrahlen und in letzter Linie auch ihre Wirkungen beherrschen (Kirchhoffsches Gesetz).

Wenn ein Körper von einer gewissen Strahlungsmenge, die wir als 100 bezeichnen wollen, getroffen wird, so wird ein Teil (R) derselben reflektiert, ein Teil (A) wird absorbiert, und ein dritter Teil (D) geht durch den Körper hindurch.

$$R + A + D = 100.$$

Man bezeichnet nun die Körper als stark Wärme absorbierend oder als atherman, wenn sie wenig Wärmestrahlung durchlassen. Es ist das ein Vorgang, welcher seine Analogie in einer geringen Durchsichtigkeit für Lichtstrahlen hat. Dagegen bezeichnet man die Körper als wenig Wärme absorbierend oder als diatherman, wenn sie viel Wärmestrahlung durchlassen. Dieser Vorgang hat seine Analogie in einer starken Durchsichtigkeit für Lichtstrahlen. Hierbei macht sich nun das Kirchhoffsche Gesetz sehr deutlich geltend, indem gute Strahler stark atherman sind, die schlechten Strahler stark diatherman sind. So ist Lampenruss diejenige Substanz, welcher ein sehr vollkommenes Strahlungsvermögen und

dementsprechend auch ein sehr vollkommenes Absorptionsvermögen zukommt, sodass er nahezu alle Strahlungsenergie, die ihn trifft, absorbiert. Der Russ ist also nahezu das, was man einen idealen vollkommen schwarzen Körper nennt, d. h. einen Körper, der überhaupt alle Strahlung, sichtbare und unsichtbare, absorbiert.

Sehr diatherman sind dagegen allgemein die Gase, wegen ihres geringen Strahlungsvermögens. Unter den flüssigen Körpern zeichnet sich das Wasser durch seine geringe Diathermansie aus, trotz seiner grossen Diaphanie. Es absorbiert fast alle dunkle Wärmestrahlen. Umgekehrt verhält sich eine Lösung von Jod in Schwefelkohlenstoff. Diese absorbiert alle sichtbaren Wärmestrahlen, lässt aber die unsichtbaren hindurch. Beide Flüssigkeiten sind daher wichtig für die Untersuchung der Wärmestrahlung.

Die grösste bekannte Diathermansie besitzt unter den festen Körpern das Steinsalz. Dies spielt daher ebenfalls bei Untersuchungen auf dem Gebiete der dunklen Wärmestrahlen eine wichtige Rolle.

21. Thermochrose.

Aber das Absorptionsvermögen eines Körpers für Wärmestrahlen stellt lediglich die Summe seiner Absorptionsvermögen für die einzelnen Strahlenbezirke dar. Und da nach dem Kirchhoffschen Gesetz jeder Körper bei derselben Temperatur diejenigen Strahlen am stärksten absorbiert, die er selbst am stärksten ausstrahlt, so muss sein Absorptionsvermögen für die Strahlungen der verschiedenen Quellen ganz verschieden sein. Am stärksten ist naturgemäss das Absorptionsvermögen für die Strahlung, welche von einer Substanz ausgeht, die mit der absorbierenden Substanz identisch ist.

So liess Steinsalz (23) von 1 mm Dicke, das von allen Strahlen anderer Wärmequellen 85 % hindurch liess, von der Wärme, die Steinsalz auf 150° erhitzt aussendete, nur 53,2 % hindurch.

Wir können nach Analogie der Lichtfarben auch in Beziehung auf die unsichtbaren Wärmestrahlen von Wärmefarben sprechen. Der Körper absorbiert diejenigen Wärmefarben am stärksten, welche er selbst bei der betreffenden Temperatur am stärksten ausstrahlt. Die Diathermansie eines Körpers hängt also durchweg nicht nur von der Menge, sondern auch von der Qualität der Strahlung ab, die ihn trifft.

22. Die Richtungsänderungen der Wärmestrahlen durch die Materie.

Ebenso wie bei der Absorption und Emission verhalten sich die Wärmestrahlen im allgemeinen prinzipiell genau so wie ihre als Lichtstrahlen

bezeichnete Unterabteilung im Speziellen. Die Gesetze der Reflexion, der Refraktion, der Dispersion und der Diffraktion des Lichtes, sowie der damit zusammenhängenden Polarisation, kurzum die gesamte Optik findet ohne weiteres für das genannte Gebiet der Wärmestrahlung sinngemässe Anwendung. Verschiedenheiten ergeben sich jedoch insofern, als erstens die einzelnen Substanzen auch in dieser Beziehung, wie für die verschiedenen Lichtstrahlen, so auch für die verschiedenen Wärmestrahlen ein verschiedenes Ablenkungsvermögen besitzen, als zweitens die nicht leuchtenden Wärmestrahlen eben nicht aufs Auge wirken, die entsprechenden Vorgänge also nicht ohne weiteres sinnfällig werden, da wir kein geeignetes Organ zur Wahrnehmung derselben besitzen.

Zunächst können wir solche Körper unterscheiden, welche die strahlende Wärme im Allgemeinen wenig reflektieren, und solche, welche sie stark reflektieren. Die Reflektion kann *regelmässig* in bestimmter Richtung geschehen (Spiegelung), oder die reflektierten Strahlen können *unregelmässig zerstreut* reflektiert werden.

Einen Körper, welcher alle auf ihn fallenden Wärmestrahlen regelmässig reflektiert, nennen wir *thermisch spiegelnd*. *Thermisch schwarz* ist ein Körper, welcher alle auf ihn fallenden Wärmestrahlen weder regelmässig noch diffus reflektiert. Thermisch weiss ist ein Körper, welcher alle auf ihn fallenden Wärmestrahlen diffus reflektiert.

23. Selektive Reflexion.

Aber ebenso wie bei der Emission und Absorption bevorzugen einzelne Körper auch bei der Reflexion die einen Wärmestrahlen vor den andern, so dass sie einen Teil der auf sie fallenden Wärmestrahlen reflektieren, einen andern aber absorbieren oder durchgehen lassen (selektive Reflexion). Solche Körper nennt mann *thermisch farbig*.

Die verschiedenen Arten der Reflexion der Körper sind insofern von grosser Bedeutung für die Wirkungen der strahlenden Wärme, als es von dem Grad und der Art der Wärmereflexion eines Körpers abhängt, ob die Wärmestrahlung in ihn einzudringen und auf seine Substanz zu wirken vermag. Vielfach ist die Anschauung verbreitet, dass die *sichtbare Farbe* auch das Wesentliche für die Wärmereflexion sei, und dass z. B. ein weisser Körper selbstverständlich ebenso wie die Lichtstrahlen auch die Wärmestrahlen reflektieren müsse. Dass dies durchaus nicht der Fall zu sein braucht, sieht man z. B. aus dem Verhalten des Bleiweisses (24, 25).

Dasselbe zeigte ein Absorptionsvermögen von 53 % für Rübölflamme, 56 % für glühendes Platin, 89 % für Kupfer von 400° Grad, 100 % für Kupfer von 100°.

Die Absorption nimmt also desto mehr zu, je weniger brechbar die Wärmestrahlen sind, und von der Ausstrahlung von 100° absorbiert das weisse Bleiweiss alles.

24. Konzentrierung der Wärmestrahlen.

Eine praktische Verwertung findet die gesetzmässige Ablenkung der Wärmestrahlen durch die Brennspiegel (Reflektoren) einerseits, die Brenngläser andrerseits. Beide Vorrichtungen dienen dazu, die Wärmestrahlen nach einem Punkte hin zu konzentrieren, ganz wie das mit denselben Vorrichtungen für die Lichtstrahlen möglich ist. Der Brenneffekt, also die eigentliche thermische Wirkung dieser Vorrichtungen beruht jedoch im Wesentlichen nicht auf den sichtbaren, sondern auf den unsichtbaren Wärmestrahlen. Das lässt sich leicht beweisen. Konzentriert man die sichtbaren Wärmestrahlen, nachdem man aus der Strahlung einer Wärmequelle z. B. der Sonne oder einer elektrischen Bogenlampe die unsichtbaren Wärmestrahlen dadurch ausgeschaltet hat, dass man sie durch Wasser hindurchgehen liess, so bleibt der Brenneffekt aus. (Vergl. Tyndall, Fragmente aus den Naturwissenschaften VIII.) Schaltet man aus der Strahlung nur die sichtbaren Wärmestrahlen aus, indem man sie durch eine Jod-Schwefelkohlenstofflösung gehen lässt, welche sehr diatherman ist, so bleibt der Brenneffekt bestehen (unsichtbarer Brennpunkt).

25. Die Dispersion (Zerstreuung) und Diffraktion (Beugung).

Der Dispersion sind die dunkeln Wärmestrahlen gerade so unterworfen, wie die leuchtenden. Da die dunkle Strahlung sich aber bis zu viel grössern Wellenlängen erstreckt als die leuchtende, so erreicht ihre Dispersion einen viel grössern Umfang. Man kann mit dem Spektralapparat, ebenso wie das sichtbare, auch das unsichtbare Spektrum herstellen, und mit weiter unten zu beschreibenden Methoden untersuchen. Da jedoch das Glas nicht genügend diatherman ist, bedient man sich dabei eines Prismas, das aus dem sehr gleichmässig diaphanen Steinsalz hergestellt ist.

Auch der Diffraktion (Beugung) ist die dunkle Wärmestrahlung nach denselben Gesetzen ausgesetzt, wie die sichtbare, und mit ihrer Hilfe vermag man das sogenannte Diffraktionsspektrum der strahlenden Wärme herzustellen. (Beugungsspektren.)

26. Die allgemeinen Wirkungen der strahlenden Wärme. Erwärmung.

Wenn wir die Wirkung einer Wärmestrahlung beurteilen wollen, so muss uns als erster Grundsatz das Gesetz von der Erhaltung der Kraft gegenwärtig sein, welches besagt, dass Kraft nie aus nichts entstehen,

aber auch nie in nichts sich auflösen kann. Die Materie vermag wohl Kräfte in sich aufzunehmen (zu absorbieren), in andere gleichwertige Kräfte umzuwandeln, und diese wiederum abzugeben, sie vermag aber aus sich heraus weder Kraft zu schaffen, noch Kraft zu vernichten.

Dieser Grundsatz auf die Wechselwirkung von Wärmestrahlung und Materie angewandt, führt zu dem Schlusse, dass nur die Wärmestrahlung auf die Materie wirken kann, welche von ihr absorbiert wird, dass aber auch jede Wärmestrahlung, welche von der Materie absorbiert wird, auf diese irgend wie wirken muss. Strahlen, welche eine Substanz durchsetzen, ohne absorbiert zu werden, können also auch keinerlei Wirkung auf diese ausüben.

Welche Wirkung eine absorbierte Wärmestrahlung auf die Materie ausübt, hängt vom Charakter der Strahlung einerseits, von dem Wesen und Zustande der absorbierenden Substanz andrerseits ab.

Wir haben oben gesehen, dass jede Substanz bei ein und derselben Temperatur ein ganz bestimmtes, charakteristisches Absorptionsvermögen für Wärmestrahlen besitzt. Wir haben uns das so erklärt, dass ihre Moleküle auf ganz bestimmte Schwingungszahlen abgestimmt seien und dass sie infolgedessen die entsprechenden Wärmeschwingungen des Äthers aufzunehmen (zu absorbieren) fähig seien, die andern nicht, ähnlich wie sich ein System von Saiten gegenüber Schallwellen verhält.

Wir müssen demnach annehmen, dass zunächst die Strahlung jedesmal in der Form der betreffenden Wärmeschwingung von der Substanz aufgenommen werde. Die Erfahrung lehrt aber, dass sie in der Regel nicht in dieser Form erhalten bleiben, sondern unmittelbar in andere Formen der Energie übergeführt werden.

Am häufigsten werden allerdings die Wärmestrahlen wiederum in Wärme übergeführt, aber in Wärme von anderer Wellenlänge. Wenn ein Körper sich durch die Strahlung eines andern Körpers erwärmt, so geht das ganz in derselben Weise vor sich, als wenn er sich durch geleitete Wärme, durch einen chemischen Prozess oder durch Reibung erwärmte, das heisst, seine Gesamtstrahlung nimmt quantitativ mit der 4. Potenz seiner Temperatur zu; qualitativ rückt allmählich sowohl das Maximum als auch die äusserste Grenze des Wärmespektrums mehr und mehr nach den kurzwelligen Strahlen hin. Es hängt also von dem augenblicklichen Wärmezustande des absorbierenden Körpers ab, in welche Wärmeschwingungen die absorbierten Strahlen umgewandelt werden. Je kühler er temperiert ist, in desto längere Wellen werden sich die absorbierten Strahlen umwandeln.

Andererseits kommt es aber auch vor, dass die absorbierten Strahlen sich teilweise in kürzere Schwingungen umwandeln. Wenn man in den dunkeln Brennpunkt einer kräftigen Strahlungsquelle, welche nur Wärmestrahlen aufhält, die länger sind, als die sichtbaren, ein Platinblech hält, so beginnt dies zu glühen, also Strahlen auszusenden, die kürzere Wellen haben, als die absorbierten. Diese Erscheinung nennt man Kaloreszenz (26).

Wir sehen also, dass eine Umsetzung von einer Art der Kraft in eine andere Art auch dann in der Regel nötig ist, wenn sich die Wirkung der Wärmestrahlung einfach durch Temperatursteigerung des bestrahlten Körpers bemerklich macht.

27. Sekundäre Wirkungen.

In vielen Fällen ist aber die Temperatursteigerung nur der Durchgangspunkt zu andern sekundären Wirkungen der Wärmestrahlung. Doch lässt es sich nicht immer entscheiden, ob solche Wirkungen primäre oder sekundäre sind. Die primären und sekundären Wirkungen der Wärmestrahlen kann man durchweg auf 3 Vorgänge zurückführen, nämlich 1. auf die Temperaturerhöhung, also auf die Erhöhung der durchschnittlichen lebendigen Kraft der Moleküle eines Körpers, 2. auf die Verminderung der Kohäsion seiner kleinsten Teilchen (= Leistung innerer Arbeit), 3. auf die Veränderung des Volumens der Körper (= Leistung äusserer Arbeit).

Unter bestimmten Umständen können einzelne dieser Leistungen der Wärme auch = Null oder negativ werden. Führt man z. B. Eis von 0° Wärmestrahlen in genügender Menge zu, so entsteht Wasser von 0°; ferner tritt eine Volumenverminderung ein. Die Temperaturerhöhung ist also in diesem Falle = 0, die Verminderung der Kohäsion (innere Arbeit) ist positiv, da die Substanz vom festen in den flüssigen Aggregatzustand übergegangen ist, die Veränderung des Volumens (äussere Arbeit) ist negativ, da das Wasser von 0° ein kleineres Volumen besitzt, als Eis von 0° (27).

Aus diesem Schema können wir uns alle denkbaren Wirkungen einer absorbierten Wärmestrahlung auf die absorbierende Substanz sinngemäss entwickeln. Wir sehen ohne weiteres, dass diese Wirkungen in erster Linie von der Beschaffenheit und dem augenblicklichen Zustande der absorbierenden Substanz abhängen und mit dieser sich ändern müssen.

Hätten wir z. B. dieselbe Strahlung auf Wasser von 0° wirken lassen, anstatt auf Eis von 0°, so hätten wir eine positive Temperaturerhöhung veranlasst, indem das Wasser sich erwärmte, ebenso eine positive innere Arbeit, indem ein Teil des Wassers unter Einfluss der Wärme verdunstet wäre und eine negative äussere Arbeit (vorausgesetzt,

dass die Erwärmung nicht über 4° C. hinausgegangen wäre), da das Volumen des Wassers von 0 bis + 4° C. abnimmt. Bei Bestrahlung von Wasser über 4° C. würde auch die äussere Arbeit positiv geworden sein, da oberhalb dieses Punktes das Wasser sich mit steigender Temperatur ausdehnt. Wir sehen also hier, dass sich die absorbierten Wärmestrahlen auf dem Wege der Volumenänderung direkt in mechanische Kraft (negativen und positiven Druck) umsetzen können.

Aber auch die innere Arbeit der absorbierten Wärme kann direkt als mechanische Kraft zur Geltung kommen. Die Verdampfung der Flüssigkeiten bildet eine hervorragende Quelle mechanischer Kraft. (Dampfdruck.) Ist doch z. B. die von den absorbierten Sonnenstrahlen erzeugte Wasserdampfbildung in letzter Linie die Quelle aller unserer Wasserkräfte. Eine besonders eigentümliche Umsetzung in mechanische Kraft macht sich bei der Drehung der sogenannten Lichtmühle durch Wärmestrahlen geltend. (33.)

Eine weitere indirekte Umsetzung der innern Arbeit absorbierter Wärme in mechanische Energie kommt in wässrigen Salzlösungen dadurch zustande, dass der osmotische Druck dieser Lösungen sich erhöht und zwar um $^1/_3\,\%$ für jeden Grad C. der Temperaturerhöhung. (27 a.)

Besonders häufig setzt sich jedoch absorbierte Wärme in chemische Energie um. Zwischen der Wärmeenergie und der chemischen Energie bestehen die zahlreichsten Beziehungen. Jeder chemische Umsatz ist das Ergebnis des Zusammenwirkens der trennenden Wärme (Dissociation) einerseits und des Bestrebens der Atome, sich zu vereinigen (Affinität) andrerseits (28). Daher entsteht oder verschwindet Wärme bei den meisten chemischen Reaktionen in demselben Masse wie umgekehrt innere (chemische) Energie gebunden wird oder frei wird. Man benutzt diese ganz allgemein auftretende Erscheinung dazu, ein Mass für die Arbeit zu gewinnen, welche bei den Reaktionen von der chemischen Energie geleistet wird, indem man feststellt, wie viele Wärmeteile (Kalorien) ein bestimmter chemischer Vorgang bindet oder frei macht. Hierauf beruhen die wichtigsten Lehren der Thermochemie. (29.) Ein wesentlicher Angriffspunkt der absorbierten Wärme gegenüber chemischen Reaktionen beruht darauf, dass sich in wässrigen Lösungen die Dissoziation der Elektrolyte, also der nach dem Typus der Salze, Säuren, Laugen (z. B. NaCl, HCl, NaOH) zusammengesetzten Chemikalien erhöht, das heisst, dass sie chemisch inaktive Moleküle in chemisch aktive Jonen zerlegt (NaCl in Na und Cl; HCl in H und Cl; NaOH in Na und OH). Aus solchen Dissoziationen können wiederum neue Verbindungen, Umlagerungen, kurz chemische Vorgänge jeder Art erstehen, so dass die

Wirkung absorbierter Wärme durchaus nicht auf Zersetzungen beschränkt bleibt. Die strahlende Wärme braucht bei diesen Vorgängen nicht immer zu beträchtlichen Temperaturerhöhungen zu führen, vielmehr kann sie direkt gebunden werden, wie dies z. B. bei den photographischen Wirkungen der Fall ist, zu welchen auch die unsichtbaren Wärmestrahlen wohl befähigt sind.

Auch auf die elektrische Energie wirkt die Wärmestrahlung ein. Vermöge der Dissoziation der Elektrolyten vermag sie Lösungen besser leitend für den galvanischen Strom zu machen. Metalle dagegen macht sie schlechter leitend für den Strom. Und schliesslich ist sie imstande elektrische Ströme selbst zu erzeugen, wie dies bei den sogenannten Thermoelementen geschieht.

28. Die Methoden zur Prüfung der Wärmestrahlungen nach Menge und Zusammensetzung.

Jeder Wärmestrahlung ist eine gewisse Intensität eigen; diese ist nach der Undulationstheorie für jede einzelne Strahlengattung proportional dem Quadrate der Wellenhöhe und umgekehrt proportional der Schwingungsdauer. (30.) Und da nun die Intensität einer Strahlung gleich der Summe der Intensitäten aller Strahlen ist, welche sie enthält (vergl. Abs. 8), so müssen wir uns jede Strahlung, welche losgelöst von der Materie den Äther durchsetzt, mit einer bestimmten Intensität, also auch mit einem genau begrenzten und nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft umsetzbaren Gehalt an Energie begabt denken. (31.) Messen können wir den Energiewert einer Strahlung aber nur an ihrer Wirkung auf die Materie.

Aus diesem Gesichtspunkte ergibt sich einerseits der Weg, auf dem es möglich ist ein Mass für Wärmestrahlungen zu gewinnen. Es ergibt sich aber andrerseits daraus auch die grosse Schwierigkeit, gerade für die strahlende Wärme ein absolutes Mass zu gewinnen. Wir müssen die strahlende Kraft an ihrer Wirkung auf die Materie messen. Wir haben gesehen, dass nur diejenige strahlende Wärme auf die Materie wirken kann, welche von dieser absorbiert wird. Wir kennen aber keinen Körper, welcher alle Wärmestrahlung gleichmässig absorbierte (also keinen idealen schwarzen Körper). Wir müssen uns mit unvollkommen absorbierenden Körpern begnügen und demnach auch mit einer unvollkommenen Wirkung. Aber auch für diese Wirkung besitzen wir wieder kein vollkommenes Mass. Würde sich die Wirkung z. B. ausschliesslich in einer Temperatursteigerung des absorbierenden Körpers geltend machen, so könnten wir den Kalorienwert und damit das mechanische Wärmeäquivalent der

Strahlung genau berechnen. Nun haben wir aber gesehen, dass die Wärmestrahlung sich durchaus nicht immer, vielleicht überhaupt niemals ausschliesslich in Wärme umsetzt. Ein Teil kann sich in mechanische, elektrische oder chemische Energie umsetzen. Wir sind daher zurzeit nicht imstande, ein absolutes Mass für den Energiewert einer Wärmestrahlung zu gewinnen. Die Messungsresultate können immer nur einen relativen Wert haben und bei den verschiedenen Messungsmethoden und für verschiedene Strahlungsbezirke sehr abweichende Resultate ergeben. In dieser prinzipiellen Unsicherheit der Messung liegt ein Hauptgrund für das Missverhältniss zwischen der grossen praktischen Bedeutung, welche die Wärmestrahlung in der Natur hat, und der verhältnismässig geringen Beachtung, welche sie in der Theorie der Naturwissenschaften findet. Hierzu kommt noch, dass die Lehre von der Wärmestrahlung in der Physik mit fortschreitender Erkenntnis der Tatsachen erst nachträglich aus zwei ursprünglich getrennten Gebieten zusammen gewachsen ist, der Wärmelehre und der Optik. Dementsprechend sind auch die Methoden, die Wärmestrahlung zu messen und zu analysieren, teils rein kalorische, teils rein optische, teils kalorisch-optische.

29. Thermometrie der Strahlung.

Die einfachste Methode, um ein Mass für den Wärmewert einer Strahlung zu gewinnen, ist die, dass man ein Thermometer dieser Strahlung aussetzt und dabei abliest, um wieviel Grade dasselbe unter dem Einflusse der Strahlung steigt. Das übliche Thermometer, welches wir zur Messung der Temperatur der Materie gebrauchen, ist aber zu diesem Zweck vollkommen unbrauchbar, und hierin zeigt sich schon der grundsätzliche Unterschied zwischen den Wärmebewegungen der Moleküle und den Wärmewellen des Äthers. Ein Thermometer, welches die Temperatur seiner Umgebung (Luft, Wasser usw.) sehr schnell und vollkommen aufnimmt, ist nahezu unempfindlich für sehr intensive Einwirkungen der Wärmestrahlung. Das kommt daher, dass das Glas, welches das Quecksilbergefäss bildet, sehr diatherman ist, also wenig Wärmestrahlung absorbiert, und dass Quecksilber selbst beinahe alle Wärmestrahlung reflektiert und noch viel weniger Wärmestrahlung absorbiert. Dies Verhalten ändert sich sofort, wenn wir das Quecksilbergefäss mit einer sehr athermanen Schicht, z. B. mit Russ überziehen, dann wird der grösste Teil der Strahlung, welche das Thermometergefäss trifft, als Wärme absorbiert. Wir haben dann ein Strahlungsthermometer. Ein solches zeigt die Lufttemperatur an, wenn sich alle Körper in seiner Umgebung mit der Luft im Temperaturgleichgewichte befinden.

Wird ihm dagegen ein Gegenstand genähert, welcher eine höhere Temperatur hat, so steigt das Strahlungsthermometer über die Lufttemperatur, da es dann von diesem Körper mehr Wärmestrahlung aufnimmt, als es selber gleichzeitig abgibt. Wird ihm ein Gegenstand genähert, welcher eine niedrigere Temperatur hat, so sinkt das Strahlungsthermometer unter die Lufttemperatur, weil es als guter Strahler jetzt mehr Wärme an den kalten Gegenstand abgibt, als es von ihm empfängt. Ein empfindlicheres Instrument, welches auf demselben Prinzipe beruht, ist das Differentialthermometer von Leslie (32). Dasselbe besteht aus einer U-förmig gebogenen Röhre, welche an beiden Enden durch zwei vollständig gleiche Glaskugeln luftdicht abgeschlossen ist und in ihrer Mitte etwas gefärbte Flüssigkeit enthält. Die eine Kugel ist geschwärzt. Wird der kleine Apparat einer Strahlung ausgesetzt, so erwärmt sich vorwiegend die Luft in der geschwärzten Kugel, und die Flüssigkeitssäule in der Röhre bewegt sich infolgedessen nach der nicht geschwärzten Kugel zu. Die Differenz kann man an einer Skala ablesen.

Diese beiden Vorrichtungen sind für grobe Messungen brauchbar und genügen im allgemeinen, um einen Begriff für den in der Natur praktisch in Betracht kommenden Betrag einer Wärmestrahlung zu geben. Für feinere physikalische Forschungen jedoch, welche sich auf sehr geringe Strahlungsdifferenzen beziehen, reicht ihre Empfindlichkeit nicht aus.

Ein sehr interessantes, aber praktisch wenig brauchbares Instrument ist die Lichtmühle von Crookes (33). In einer luftleeren Glasbirne befindet sich, leicht drehbar um eine vertikale Achse, ein horizontales Kreuz, welches an seinen vier Enden je ein vertikal gestelltes Blättchen von Aluminium trägt. Diese Blättchen sind in gleicher Folge auf der einen Seite blank, auf der anderen Seite geschwärzt. Wärmestrahlung versetzt dieses Kreuz in Drehung. Die Drehung ist desto lebhafter, je intensiver die Strahlung ist. Es ist dies ein ganz eigentümlicher Fall der Umsetzung von Wärmestrahlen in mechanische Energie. Man hat versucht, auch diese Vorrichtung als Mass für die Intensität der Wärmestrahlungen zu gebrauchen (Skalenphotometer nach Zöllner 34).

Wesentlich vollkommenere Strahlungsmesser bietet uns die Elektrotechnik. Es dienen hier zwei Wirkungen der Wärme als Ausgangspunkt. Erstens die direkte Erzeugung elektrischer Energie durch Wärme (Thermoelemente), zweitens die Tatsache, dass Erwärmung die elektrische Leitfähigkeit der Metalle herabsetzt (Bolometer).

Auf dem erstgenannten Prinzip beruht der Thermomultiplikator oder die Thermosäule (35, 36). Der Apparat besteht aus einer thermoelektrischen

Säule, deren eine Fläche berusst und der Strahlungsquelle zugewandt ist, während die andere der Strahlungsquelle abgewandt ist. Die Säule ist mit einem Galvanometer verbunden. Wenn die beiden Flächen gleiche Temperatur haben, so gibt die Säule keinen Strom und die Galvanometernadel bleibt in Ruhe. Die geringste Strahlung wirkt erwärmend auf die geschwärzte Fläche, es entsteht Strom, welchen die Galvanometernadel anzeigt.

Das Bolometer nach Langley (37, 36) beruht darauf, dass durch Erwärmung die Leitfähigkeit der Metalle abnimmt. Ein feiner geschwärzter Draht, der von einem Strom durchflossen ist, wird der Strahlung ausgesetzt. Die geringste Wärmeabsorption des Drahtes führt zu einer Herabsetzung seiner elektrischen Leitfähigkeit und diese macht sich am Galvanometer geltend. Die Empfindlichkeit dieses Instrumentes ist eine ganz ausserordentliche. Bereits Temperaturunterschiede von $^1/_{50000}$ ° Fahrenheit sollen sich an demselben bemerkbar machen und Langley hat mit demselben die Strahlen von Körpern, die eine Temperatur von — 0,2 ° C. besassen, noch bestimmen können.

Bis hierher haben wir nur die rein thermischen Wirkungen der Wärmestrahlen berücksichtigt. Von seiten der Optik kommen jedoch ganz neue Gesichtspunkte für die Beurteilung der Wärmestrahlung.

Herrschel (38) zeigte zuerst, dass das Spektrum, welches man vermittelst eines Glas-Prismas aus einer Lichtquelle gewinnen kann, mit dem sichtbaren Teil tatsächlich nicht zu Ende ist, sondern dass es auf der Seite, welche mit Rot für das Auge endet, sich noch unsichtbar fortsetzt. Er wies dies nach, indem er ein Thermometer in die ultrarote Gegend brachte und fand, dass das Thermometer stieg, und zwar noch mehr stieg als im sichtbaren Spektrum. Von diesem Zeitpunkte an datiert die Angliederung der Lehre von der strahlenden Wärme an die Optik.

Es ergab sich aus dieser Tatsache nicht nur, dass die strahlende Wärme und das Licht ein und demselben zusammenhängenden Gebiete angehörten, es ergab sich auch für die strahlende Wärme die wichtige Tatsache, dass sie sich ebenso wie das Licht, ja bei weitem noch mehr wie dieses, aus unzähligen, qualitativ verschiedenen Strahlungen zusammensetze. Hiermit war der Anstoss gegeben, die Wärmestrahlung nach optischen Prinzipien zu behandeln.

30. Die spektrale Zerlegung der Wärmestrahlung.

Man kann mit Hilfe jedes gewöhnlichen Spektralapparates (39) die unsichtbaren Wärmestrahlen ebensowohl und nach denselben Gesetzen zu einem Spektrum zerstreuen, wie die sichtbaren. Und zwar kann man entweder mit Hilfe eines Prismas ein Brechungs- oder Dispersions-Spektrum,

oder mit Hilfe eines Gitters ein Beugungs- oder Diffraktions-Spektrum herstellen. Es ist jedoch dabei zu beachten, dass Substanzen, welche für sichtbare Strahlen sehr durchsichtig sind, die längeren, unsichtbaren Wellen stark absorbieren können. Dies ist auch beim Glase der Fall, aus welchem die Prismen und Linsen der gewöhnlichen Spektroskope gebildet sind; man kann daher bei letzteren nie sicher sein, ob das erzielte Spektrum wirklich der Strahlungsquelle eigentümlich, oder durch die Absorption des Glases verändert ist.

Das Beugungsgitter bietet den Vorteil gegenüber dem Glasprisma, dass es diesen Übelstand vermeiden kann. Mit Hilfe derselben hat Abney (40, 41) einen Spektralapparat hergestellt, in welchem die Strahlung nur durch Luft geht, aber sonst durch keine brechende Substanz modifiziert werden kann.

Doch kann man auch zur Spektralanalyse der Wärmestrahlung Prismen, Linsen und dergl. verwenden. Nur müssen dieselben nicht aus Glas, sondern aus Steinsalz hergestellt sein, welches eine so ausgezeichnete Diathermansie besitzt, dass es das Wärmespektrum nicht wesentlich verändert.

Mit Hilfe solcher Apparate erhält man also ein Spektrum, welches an Umfang und Bedeutung über das Spektrum der sichtbaren Strahlen weit hinausgeht. Nimmt man damit das Spektrum eines weissglühenden Körpers auf, so bildet der sichtbare Teil derselben nur einen ganz kleinen Abschnitt; er umfasst nur die Wellenlängen von 0,000683—0,000330 mm Wellenlänge. Der gesamte Bereich des uns heute bekannten und nachweisbaren Wärmespektrums umfasst aber etwa die Wellenlängen von 0,06 bis 0,0001 mm.

Was aber die Bedeutung des Wärmespektrums gegenüber dem sichtbaren Spektrum noch erhöht, ist der Umstand, dass in der Regel nur glühend heisse Körper, also Körper, welche eine Temperatur von mehr als 525° C. haben, ein sichtbares Spektrum geben. Ein Wärmespektrum gibt aber jeder überhaupt existierende Körper, auch der kalte. Langley ist es gelungen, das Wärmespektrum von Körpern, deren Temperatur sich selbst unter dem Gefrierpunkte befand, aufzunehmen. (42.)

31. Die Sichtbarmachung des unsichtbaren Wärmespektrums.

Während das sichtbare Spektrum durch das Auge ohne weiteres wahrnehmbar ist und uns sogar die verschiedenen Eigenschaften seiner einzelnen Bezirke durch verschiedene Farbe und Helligkeit ganz unmittelbar zum Bewusstsein bringt, fehlt uns für das Wärmespektrum ein ähnlicher Sinn. Denn der Wärmesinn unserer Haut ist viel zu wenig fein, um uns

auch nur annähernd ähnliche Dienste gegenüber der dunklen Wärmestrahlung zu leisten, wie das Auge gegenüber der sichtbaren Wärmestrahlung. (Vergl. Abs. 39.)

Wir sind daher zur Prüfung des Wärmespektrums auf Hilfsmittel angewiesen. Diese Vorrichtungen beruhen naturgemäss auf dem Prinzip, dass sie, in das Spektrum gebracht, Strahlen absorbieren und auf dieselben nun ihrerseits reagieren (s. o. Abs. 12 u. 13). Von der Stärke dieser Reaktion hängt es also ab, ob und wie stark uns das betreffende Instrument das Vorhandensein von dunkeler Strahlung im Wärmespektrum anzeigt.

Die Mehrzahl dieser Methoden benutzt die kalorische Wirkung der Strahlung, um das unsichtbare Spektrum sichtbar zu machen. Diesem Zwecke sind die verschiedenen Instrumente der Thermometrie der Strahlung (vergl. den vorhergehenden Absatz) angepasst worden. Das einfachste, aber auch unvollkommenste Verfahren ist das oben erwähnte zuerst von Herschel (38) angewendete. Er brachte ein Thermometer in die verschiedenen Farben des sichtbaren Spektrums und fand, dass die Temperatur desselben im violetten Teil am geringsten war und nach dem roten Ende des sichtbaren Spektrums immer mehr zunahm. Als er nun das Thermometer in die dunkle Gegend jenseits des roten Endes des sichtbaren Spektrums brachte, fand er, dass die Temperatur noch immer zunahm, bis es in eine Entfernung vom roten Ende gekommen war, die etwa gleich dem Abstande dieses vom Gelben ist. Bei weiterer Entfernung vom Roten nahm die Wärmewirkung wieder rasch ab.

Bedeutend empfindlicher sind die Thermoelemente nach Nobili (43). Man gibt ihnen zur Untersuchung des Spektrums eine lineare Form und ist so imstande, die Wirkung jedes einzelnen schmalen Spektralbezirkes für sich auf das Thermoelement zu beobachten und zu messen.

Die Thermosäule ist jedoch jetzt für Messungen der Wärmestrahlung fast vollständig verdrängt von dem Bolometer nach Svanberg und Langley (44), welches wesentlich grössere Empfindlichkeit und bequemere Anwendbarkeit besitzt. Es wird zu Spektralmessungen ebenfalls auf lineare Form gebracht. Mit Hilfe der Thermosäule und des Bolometers ist es gelungen, das ganze Gebiet der sichtbaren und unsichtbaren Wärme-Strahlung vom äussersten Ultraviolett (45) bis ins äusserste Ultrarot zu verfolgen und zu messen.

Ein wesentlich anderes Prinzip, das ultrarote Spektrum zur Darstellung zu bringen, verfolgte schon John Herschel (46). Er berusste einen Papierstreifen und tränkte ihn dann mit Alkohol oder Äther. Wenn er nun auf den feuchten Streifen ein Sonnenspektrum entwarf, so entstanden durch verschiedene Verdampfung helle und dunkle Streifen. So

konnte er im Ultrarot verschiedene Intensitäten erkennen. Doch sind die Streifen sehr diffus.

Dies ist also die erste, wenn auch unvollkommene Methode, das ultrarote Spektrum sichtbar zu machen. Ein weiterer Schritt auf diesem Wege ist die Verwendung von Phosphoreszenzplatten. Die ultraroten Strahlen haben die Eigenschaft, dass sie das Phosphoreszenzlicht von phosphoreszierenden Platten auslöschen. Entwirft man also ein Wärmespektrum auf eine solche phosphoreszierende Platte, so werden alle Stellen, welche von Wärmestrahlen getroffen werden, dunkel, alle anderen bleiben hell. Diese Methode zur Untersuchung der Wärmestrahlung ist zuerst von Becquerel, Vater und Sohn, verwandt worden (47). Nach dem Vorschlag von Lommel wurde dann das so erzeugte phosphorographische Bild direkt photographiert. So konnte man also das Wärmespektrum indirekt photographisch wiedergeben.

Ein weiterer Schritt führte zur direkten photographischen Aufnahme des Wärmespektrums (48). Insbesondere Abney ist es gelungen, photographische Platten herzustellen, auf welche die Wärmestrahlen ganz ebenso einwirken, wie die Lichtstrahlen auf die gewöhnlichen Platten. Es gelangen ihm damit Aufnahmen bis zur Wellenlänge von 0,001 075 mm. Dieses letztere Verfahren steht also vollkommen auf demselben Boden, wie die in der Optik gebräuchlichen, und bietet den Vorzug, dass das Ergebnis absolut objektiv und haltbar aufgezeichnet wird.

32. Die Messungen des unsichtbaren Spektrums.

Durch die besprochenen Methoden erhält man in erster Linie die Möglichkeit, die Wellenlängen der verschiedenen Strahlen zu bestimmen, welche die untersuchte Strahlung enthält. Denn sowohl im Gitterspektrum, als auch im Prismenspektrum steht die Ablenkung, welche die Strahlen durch den Apparat erfahren, in einem ganz bestimmten proportionalen Verhältnis zur Wellenlänge der Strahlen. Man kann also aus dem Ablenkungswinkel ohne weiteres die Wellenlänge der Strahlen berechnen. Hierdurch konnte zunächst der Nachweis gebracht werden von der Zugehörigkeit der Lichtstrahlung zu dem grossen Gebiete der Wärmestrahlung. Es konnte ferner der Nachweis erbracht werden, dass jede beliebige Wärmestrahlung vollkommen den optischen Gesetzen folgt. Die Messungen ergaben für den uns augenblicklich bekannten Bezirk der Wärmestrahlung die Wellenlänge von 0,06—0,0001 mm.

Die angewandten Methoden ermöglichen jedoch in einem gewissen Grade nicht nur die Feststellung der Ausdehnung eines gegebenen Spektrums, sondern auch die Messung der relativen Intensität der einzelnen Bezirke

desselben. Wenn man nach einer der beschriebenen Methoden ein gegebenes Spektrum aufnimmt, so zeigen nicht alle Bezirke desselben gleich starke Wirkung, sondern es wechseln an den verschiedenen Stellen starke Wirkungen und schwache, Maxima und Minima. Und wenn wir mit ein und derselben Methode die Wärmespektren verschiedener Strahlungsquellen vergleichen, so finden wir, dass die Lage dieser Maxima und Minima eine verschiedene ist. Wir können also die Intensität der Wirkung verschiedener Bezirke ein und desselben Spektrums sowohl, als auch verschiedener Spektren mit einander vergleichen. Doch müssen wir immer bedenken, dass es sich dabei nur um relative Werte handeln kann. Ebenso wie wir für die Lichtstrahlung ganz verschiedene Werte bekommen, je nachdem wir ihre optische, ihre thermische oder ihre chemische Helligkeit messen (49), ebenso erhalten wir für das Wärmespektrum keine vergleichbaren Werte, wenn wir sie nach verschiedenen Methoden messen.

Bei den vergleichenden Messungen mit der Thermosäule sowohl als mit dem Bolometer dient der Ausschlag der Galvanometernadel als Mass. Wenn man die Wellenlängen des Spektrums auf der Abcisse, die abgelesenen Werte auf den Ordinaten einträgt, erhält man Kurven, welche einem ohne weiteres ein anschauliches Bild der Intensitätsverteilung in den verschiedenen Spektren geben (50).

Bei dem photographischen Verfahren kommen die Intensitätsunterschiede unmittelbar zur Beobachtung, indem auf dem photographischen Bilde des Wärmespektrums dunklere mit helleren Streifen abwechseln. Allerdings ist hier ein einigermassen zutreffender Vergleich verschiedener Intensitäten noch schwieriger, als bei den anderen Verfahren.

33. Absorptionsspektren, Fraunhofer'sche Linien.

Bei der Untersuchung von Wärmespektren stossen wir ganz wie bei der Spektralanalyse des Lichtes häufig auf die Erscheinung, dass das erhaltene Spektrum nicht vollständig der Strahlung der untersuchten Strahlungsquelle entspricht. Denn auf dem Wege von der Strahlungsquelle bis zur Stelle der spektroskopischen Aufnahme muss die Strahlung jedesmal Materie durchsetzen, welche infolge ihres spezifischen Absorptionsvermögens Teile der Strahlung zurückhält. Dieser Ausfall zeigt sich in der Gestalt von linien- und streifenförmigen Lücken in dem ursprünglichen Spektrum. Wir haben demnach ganz wie im sichtbaren Spektrum, so auch im unsichtbaren Absorptionsspektren; diese sind für die einzelnen absorbierenden Substanzen ganz ebenso charakteristisch wie die Absorptionsspektren im sichtbaren Teile. Diese Absorptionen sind von grosser wissenschaftlicher, aber auch von grosser praktischer Bedeutung.

Wir haben gesehen, dass Steinsalz für wärmespektroskopische Zwecke besonders brauchbar ist, weil es fast keine Absorption zeigt. Grünes Glas dagegen absorbierte alle Strahlen der Wellenlängen von 0,00759—0,01131 mm (51). Quarz wird immer durchlässiger von der Wellenlänge (λ) $= 0{,}00076 — 0{,}003$ mm. Hartgummi wird gleich im Ultraroten diatherman, die Durchlässigkeit wächst bis $\lambda = 0{,}0009$ und bleibt dann konstant bis $\lambda = 0{,}003$ mm. Lampenruss absorbiert alle Wellenlängen gleich stark. Wasser in dicker Schicht absorbiert fast das ganze Gebiet der unsichtbaren Wärmestrahlung. Kupfersulfat absorbiert alles Ultrarot. Dagegen lässt eine vollständig undurchsichtige Schicht einer konzentrierten Lösung von Jod und Schwefelkohlenstoff das gesamte ultrarote Spektrum ganz hindurch gehen. Chlorophyllösung gibt keine Bande in Ultrarot.

Über die Absorption der tierischen und menschlichen Stoffe im ultraroten Spektrum liegen leider zurzeit noch keine zusammenhängenden Untersuchungen vor.

Alkohol ist gleichmässig diatherman von $\lambda = 0{,}000776 — \lambda = 0{,}000941$, dann nimmt die Diathermansie ab und bei $\lambda = 0{,}0014$ mm ist starke Absorption vorhanden.

Auch die Gase und Dämpfe zeigen, ganz wie im sichtbaren Spektrum, so auch in unsichtbaren typischen Absorptionen und zwar auch hier in Linienform. Wir finden daher auch im Wärmespektrum der Sonne solche Absorptionslinien, sogenannte Fraunhofersche Linien, welche ihre Entstehung dem Gasmantel der Sonne verdanken. Üben diese auch unseres Wissens keinen bemerkbaren Einfluss auf die Wirkung der Sonnenstrahlung aus, so werden sie doch insofern von praktischer Bedeutung, als sie eine wichtige Ergänzung zur Erforschung der chemischen Konstitution der Himmelskörper durch Spektralanalysen ermöglichen (52).

Von bedeutendem Einfluss auf die Wirkung der Sonnenstrahlung ist jedoch die atmosphärische, terrestrische oder tellurische Absorption des Sonnenspektrums. Ein Teil der Fraunhoferschen Linien im Sonnenspektrum wird desto dunkler, je niedriger die Sonne steht und dokumentiert damit seinen Ursprung in der Erdatmosphäre. Dieses Stärkerwerden der tellurischen Absorption geht einher mit dem sehr bemerkbaren Nachlassen der Wärmewirkung der Sonnenstrahlung. Die meisten dieser Linien und Banden verdanken ihren Ursprung dem Wasserdampf der Atmosphäre. Ausserdem ist noch der Sauerstoff wirksam. Linien von Stickstoff, Kohlensäure und Ozon sind bisher nicht gefunden worden. Doch sind die letzteren zweifellos auch wirksam (53).

34. Die Ergebnisse der Analyse des Wärmespektrums.

Aus den bisher entwickelten Gesichtspunkten ergibt sich also, dass der Charakter des Wärmespektrums, welches wir in einem gegebenen Falle erhalten, bedingt wird einerseits durch die Strahlungsquelle, anderseits durch die Medien, welche die Strahlung durchsetzt. Dies sei nochmals kurz zusammengefasst.

Von seiten der Strahlungsquelle kommen folgende Faktore in Betracht.

a) Das spezifische Strahlungsvermögen σ der Strahlungsquelle (vergl. Abschnitt 20). Wir haben gesehen, dass jede Substanz ihr eigentümliches Strahlungsvermögen hat, welches für die verschiedenen Wellenlängen sehr verschieden sein kann. Insbesondere haben wir gesehen, dass das Strahlungsvermögen der Gase und Dämpfe bei Atmosphärendruck in der Regel auf einzelne scharf begrenzte Wellenlängen beschränkt bleibt (Linien- und Bandenspektrum), während es bei komprimierten Gasen, bei Flüssigkeiten und festen Körpern auf breite Bezirke, wenn nicht auf den ganzen Umfang des Spektrums sich erstreckt (kontinuierliche Spektren).

b) Die Temperatur der Strahlungsquelle. Während die Spektralanalyse des Lichtes sich in der Regel nur mit der Strahlung solcher Körper zu beschäftigen vermag, deren Temperatur $> 525^{\circ}$ C ist, vermag die Spektralanalyse der Wärmestrahlung prinzipiell alle Körper zu untersuchen und hat tatsächlich auch schon Resultate bei Körpern gezeitigt, deren Temperatur unter dem Gefrierpunkte war.

Auf den Charakter des Spektrums ist die Temperatur insofern von massgebendem Einfluss, als die Summe der von einem Körper ausgestrahlten Wärme proportional der vierten Potenz seiner absoluten Temperatur steigt (vergl. Absatz 19) und als das Maximum des Spektrums sowohl, als auch die eine Grenze des Spektrums mit steigenden Temperaturen immer mehr nach den kurzwelligen Gebieten desselben rückt.

c) Die Entfernung der Strahlungsquelle. Die Intensität aller Spektralbezirke nimmt proportional dem Quadrate der Entfernung, welche die Strahlen zwischen der Strahlungsquelle und dem Orte des Spektrums zu durchlaufen haben, ab. (Das geometrische Gesetz. Vergl. Absatz 9.)

Von seiten der Medien, welche die Strahlung zu durchsetzen hat, kommen folgende Faktoren in Betracht:

a) Die Wärmefarben der durchstrahlten Medien oder das spezifische Absorptionsvermögen derselben für die verschiedenen Wärmestrahlen (vergl. Abschnitt 22).

b) Die Dicke der zu durchlaufenden Schicht der betreffenden Medien. Mit zunehmender Dicke der durchlaufenen Medien steigt gesetzmässig (54) die Schwächung der Strahlung.

c) Einen gewissen Einfluss hat auch die Temperatur der durchstrahlten Medien (55).

Die spektrale Analyse einer gegebenen Strahlung gibt uns nun einerseits die Möglichkeit, Rückschlüsse auf die soeben erörterten Punkte, also in erster Linie auf die Beschaffenheit der strahlenden und der durchstrahlten Medien zu ziehen; andrerseits ermöglicht sie uns aber auch uns von der Wirksamkeit und der Wirkungsweise einer gegebenen Strahlung ein Bild zu machen. Denn diese hängen nicht nur von der thermometrisch messbaren Menge der Wärme, sondern auch in hohem Grade von der spektralen Zusammensetzung der betreffenden Strahlung, also von der Qualität der Wärme ab.

Praktisch kommen für uns in erster Linie die Strahlung der Sonne, in zweiter Linie die Strahlung irdischer Wärmequellen in Betracht.

35. Das Sonnenspektrum.

Ueber die physische Konstitution der Sonne herrscht noch keine volle Klarheit (56, 57). Wahrscheinlich ist es, dass die sichtbare Oberfläche der Sonnenscheibe durch eine Wasserstoffatmosphäre gebildet ist, deren Spektrum durch gesteigerten Druck (vergl. Abs. 20) kontinuierlich geworden ist. Über die Temperatur dieser Atmosphäre weichen die Angaben weit auseinander; doch das erscheint sicher, dass diese Temperatur alle irdischen Temperaturen bei weitem übertrifft. Zöllner gibt dieselbe auf 27000° C., die Temperatur des Innern der Sonne auf 70000° C. an. Nach Untersuchung von Langley dagegen kann man schliessen, dass die Temperatur der Sonne mindestens 150000° C. betrage (58). Wie dem auch sei, auf alle Fälle entstammt die Strahlung der Sonne einem Körper von ganz ausserordentlich hoher Temperatur im Vergleich zu den Temperaturen unserer irdischen Wärmequellen.

Die Temperatur des elektrischen Bogenlichtes beträgt dagegen 4—5000° C., die der Weingeistflamme $<$2000° C.

Dem entsprechend muss das Maximum im Sonnenspektrum vergleichsweise sehr weit nach der Seite der stark brechbaren, kurzwelligen Strahlen geschoben sein, und das Spektrum muss nach dieser Seite hin sich sehr weit ausdehnen.

In der Tat liegt nach den Untersuchungen von Langley das Maximum des Gitterspektrums der Sonne, bolometrisch gemessen, breit und hoch im Bereiche des sichtbaren Spektrums, während die Maxima der meisten irdischen Wärmequellen bei weitem mehr im Gebiete grösserer

Wellenlängen, im ultraroten liegen (59). Die Grenze des Sonnenspektrums auf der Seite der kurzwelligen Strahlen liegt aber schon bei 0,0003 mm, während wir die Strahlung gewisser irdischer Strahlungsquellen beträchtlich weiter, etwa bis zur Wellenlänge von 0,0001 mm, verfolgen können.

Die Erklärung für diese auffallende Erscheinung liegt darin, dass die Sonnenstrahlung nicht unverändert, sondern durch die atmosphärische Absorption geschwächt, die Erde erreicht. Und es scheint, dass die Atmosphäre alle Strahlen von einer geringeren Wellenlänge als 0,000297 mm vollständig absorbiert (60).

Aus diesen Eigenschaften erklären sich manche Besonderheiten in der Wirkung der Sonnenstrahlung im Vergleich mit anderen Strahlungen, auf die wir noch zurückkommen werden.

Anhangsweise sei erwähnt, dass es Langley gelungen ist (61) auch das Emissionsspektrum, also die eigene Ausstrahlung des Mondes, genau aufzunehmen. Bei der Wellenlänge von 0,014 mm hat die Mondstrahlung ihr Maximum, während ein Lesliescher Würfel von 100° es bei 0,008 mm hat. Dieses Maximum entspricht einer Temperatur des Mondes zwischen —20° und 0° C.

36. Das Spektrum irdischer Wärmequellen.

Gase und Dämpfe geben ebenso wie im Gebiete der sichtbaren, so auch in dem der unsichtbaren Strahlung ein Linienspektrum oder ein Bandenspektrum (62). Als praktisch wirksam kann diese dürftige Strahlung wenig in Betracht hommen, wenn sie auch für die Theorie der Spektralanalyse interessant ist. In dieses Gebiet gehören auch die Flammen, solange sie nur aus Gasen und Dämpfen bestehen, wie die Wasserstoffflamme, die dunkle Flamme des Bunsenbrenners. Trotz ihrer hohen Temperatur besitzen sie ein ausserordentlich geringes Strahlungsvermögen.

Dies Verhalten ändert sich jedoch, sobald die Flamme feste Kohlenpartikelchen enthält, wie die Flamme unserer üblichen Beleuchtungskörper, der Stearinkerze, der Petroleumlampe, der Gaslampe. Zu dem schwachen Linien-Spektrum der heissen Verbrennungsgase tritt dann das kräftige kontinuierliche Spektrum des Kohlenstoftes hinzu und überwiegt das erstere vollkommen. Für das Auge macht sich dieser Vorgang dadurch bemerkbar, dass eine solche Flamme ein helles Licht aussendet. Aber im ultraroten Teil nimmt dabei die Strahlung ganz in demselben Masse zu. Aus diesem Grunde zeigt z. B. die leuchtende Flamme eines Bunsenbrenners eine beträchtliche stärkere Wärmestrahlung als die nichtleuchtende Flamme desselben Brenners trotz der höheren Temperatur der letzteren. Ähnliche Verhältnisse zeigt die Ausstrahlung fester glühender Kohle, wie z. B. bei der elektrischen Glühlichtlampe.

Eine starke Ausdehnung nach der ultravioletten Seite des Spektrums zeigt die Ausstrahlung dieser Wärmequellen nicht wegen ihrer verhältnismässig geringen Temperatur (etwa 2000—2300° C.).

Ganz andere Verhältnisse zeigt das elektrische Bogenlicht, dessen Temperatur auf etwa 4—5000° C. zu bewerten ist. Es ist wohl dasjenige irdische Licht, welches dem Sonnenlicht am nächsten kommt. Doch enthält es einerseits weit mehr dunkle Wärmestrahlen im Verhältnis zum sichtbaren Spektrum als das Sonnenlicht, andererseits liegt sein Maximum der Intensität, bolometrisch gemessen, nicht im Ultrarot, wie das der meisten anderen irdischen Wärmequellen, auch nicht im sichtbaren Spektrum, wie das bei der Sonne der Fall ist, sondern im Ultraviolett. Auch erstreckt sich das Bogenlichtspektrum viel weiter ins Ultraviolett hinein, wie das der Sonne.

Der erstere Umstand, das Überwiegen der ultraroten Strahlen im Vergleich zur Sonnenstrahlung erklärt sich daraus, dass dem Bogenlicht eine niedrigere Temperatur zusteht als der Sonne; der zweite Umstand, das Maximum im Ultraviolett, erklärt sich daraus, dass das Bogenlicht nicht wie das Sonnenlicht durch atmosphärische Absorption (60) geschwächt ist. Bekämen wir das Sonnenlicht ohne atmosphärische Absorption, so würde es voraussichtlich das Bogenlicht im ultravioletten Gebiete bei weitem übertreffen (63). Noch weiter ins Ultraviolette hinein reicht das Spektrum des zwischen Metallelektroden überschlagenden elektrischen Funkens, welchem eine ausserordentlich hohe Temperatur zukommt.

Langleys Versuche (64) ergaben, dass das Maximum der Strahlung und die äusserste Grenze des Spektrums sich immer mehr nach dem äussersten Ultrarot hin zurückzieht, je tiefer die Temperatur der strahlenden Körper ist.

So ergaben sich nach den Versuchen Langleys (65) die Maxima der vom Russ, unserem besten Strahler, ausgestrahlten Wärme bei verschiedenen Temperaturen wie folgt.

Temperatur des Russes	Maximum der Strahlung bei der Wellenlänge von
815° C.	0,00353 mm
525 „	0,00425 „
330 „	0,00412 „
300 „	0,00561 „
179 „	0,00620 „
100 „	0,00655 „
40 „	0,00785 „
—0,2 „	0,00900 „

Dabei wird natürlich die Intensitätskurve immer flacher. Aber auch noch von Körpern, deren Temperatur unter 0° C. war, gelang es, Intensitätskurven zu gewinnen, eben so gut, wie von dem heissesten strahlenden Körper, der Sonne.

III. Die Wirkungen der Wärmestrahlung auf den menschlichen Organismus.

37. Die Bedingungen, unter welchen die Wärmestrahlung auf den menschlichen Organismus wirkt.

Unter normalen Verhältnissen spielt der Wärmeaustausch durch Strahlung für den menschlichen Körper eine bedeutende Rolle. Denken wir uns einen Menschen in einem geschlossenen Raume stehend, dessen Begrenzungsflächen aus irgend einem homogenen Stoffe bestehen (etwa Tapete), dessen Temperatur gleich der Lufttemperatur ist, so findet durch die diathermane Luft hindurch ein Wärmeaustausch zwischen Körperoberfläche und der Innenfläche des Raumes statt. Unter diesen Bedingungen erhält der menschliche Körper von der Fläche des Raumes eine Menge Q_1 Wärme zugestrahlt, welche nach dem Stefanschen Gesetze (s. o.) proportional der 4. Potenz der Temperatur multipliziert mit dem spezifischen Strahlungsvermögen σ_1 dieser Fläche ist, also $Q_1 = \sigma_1 T_1^4$. Der menschliche Körper seinerseits strahlt den Flächen die Menge $Q = \sigma T^4$ zu, wenn wir als σ sein spezifisches Strahlungsvermögen, als T seine Temperatur bezeichnen. Die Bilanz dieses Wärmeaustausches ist also $Q - Q_1 = \sigma T^4 - \sigma_1 T_1^4$.

Ist $Q = Q_1$, so erhält der menschliche Körper eben so viel Wärme zugestrahlt, als er ausstrahlt. Ist $Q < Q_1$, so erhält er mehr Wärme, als er ausstrahlt; ist $Q > Q_1$, so strahlt er mehr Wärme aus, als er erhält. Praktisch kommt dies Verhalten auf dasselbe hinaus — und es wird auch meist sprachlich so ausgedrückt — dass der menschliche Körper an die Körper seiner Umgebung Wärme ausstrahlt, welche eine niedrigere Strahlungstemperatur haben, dass er von den Körpern bestrahlt wird, welche eine höhere Strahlungstemperatur haben, als er selbst. Die Luft spielt wegen ihres geringen Strahlungs- und Absorptionsvermögens hierbei eine sehr geringe Rolle. Sie ist eben sehr diatherman und lässt die Strahlungen allseitig ziemlich unverändert durchgehen.

Die natürlichen Strahlungsverhältnisse, denen der menschliche Körper für gewöhnlich ausgesetzt ist, sind allerdings weniger einfach. Einerseits sind die Flächen, deren Strahlung er ausgesetzt ist, nicht gleichmässig, sondern zusammengesetzt aus sehr vielen Elementen, welche nach

Strahlungsvermögen, Temperatur, Flächeninhalt und Entfernung sich sehr verschiedenartig verhalten. Die Strahlungswärmebilanz des Körpers kann daher für verschiedene Stellen der Körperoberfläche sehr verschieden ausfallen. Anderseits ist der Körper für gewöhnlich grösstenteils von Kleidern umhüllt. Für diese bedeckten Teile kommt daher praktisch die Strahlung der Kleideroberfläche in Betracht.

Für die Wirkung dieser Strahlungsvorgänge auf den menschlichen Körper kommt aber nicht nur die absolute Menge der betätigten Strahlungen, sondern auch ihre qualitative Zusammensetzung in Betracht. Wir kennen nun annähernd das quantitative Strahlungsvermögen der Haut und der Bekleidungsstoffe und wissen, dass dieses ein sehr grosses ist; wir wissen auch, dass das Absorptionsvermögen derselben, welches nach dem Kirchhoffschen Gesetze dem Strahlungsvermögen proportional ist, ebenfalls sehr gross ist.

Es muss nun möglich sein, das Wärmespektrum dieser Strahlung ebenso aufzunehmen und in seinen einzelnen Teilbezirken zu messen, wie dies bei anderen Strahlungen geschehen ist. Wir würden voraussichtlich ebenso Maxima und Minima des Spektrums erhalten, wie sie sich bei allen anderen Spektren finden. Und hieraus würden wir wichtige Aufschlüsse darüber erhalten, für welche Strahlen die betreffenden Flächen ein grosses, für welche sie ein geringes Strahlungs- und Absorptionsvermögen besitzen (selektive Absorption). Auf demselben Wege könnte es gelingen festzustellen, welche Strahlen vorzugsweise von der Oberfläche reflektiert werden (selektive Reflexion).

Leider stehen uns derartige zusammenfassende Messungen zurzeit noch nicht zur Verfügung. Wohl aber sprechen einzelne Beobachtungen, auf welche wir noch zurückkommen werden, dafür, dass tatsächlich solche selektive Vorgänge bei der Wirkung der Strahlungen auf den menschlichen Körper eine wesentliche Rolle spielen.

Wenn auch aus den vorstehenden Ausführungen hervorgeht, dass der menschliche Körper mit seiner Umgebung immer in wechselseitiger Beziehung der Strahlung steht, so ist es doch zweckmässig, diese Vorgänge einzuteilen in solche, bei welchen der menschliche Körper vorwiegend Wärmestrahlung abgibt und in solche, bei welchen er vorwiegend Wärmestrahlung aufnimmt.

38. Der menschliche Körper als Strahler.

Da der menschliche Körper durch seine Eigenwärme eine Temperatur hat, welche die Lufttemperatur in der Regel erheblich übersteigt, ein grosser Teil der Aussenwelt aber, mit welcher er in Wärmestrahlungsaustausch

steht, annähernd die Lufttemperatur hat, so verliert er fortwährend erhebliche Wärmemengen durch Strahlung.

Diese Wärmemenge genau festzustellen, stösst auf die grössten Schwierigkeiten; sie ändert sich zweifellos ganz bedeutend unter verschiedenen Bedingungen. Rubner (66) hat sie annähernd für bestimmte Fälle berechnet. Der Gang dieser Berechnung sei hier kurz dargestellt. Er berechnete die ausstrahlende Kleideroberfläche seiner Versuchsperson auf 18804 qcm. Die Luft hatte 17,5°, die Kleidung 22,9°, sonach Überschuss 5,4° C. Für den Anzug (Sommerkammgarn) hatte er als Ausstrahlungskoëffizienten (67) 4,11 Kal. pro 1 qm und pro 1 Std. gefunden, woraus sich als Gesamtstrahlung ableitet

$$4{,}11 \times 5{,}4 \times 1{,}88 = 41{,}72 \text{ Kal.}$$

Behaart waren etwa 600 qcm. Der Wärmeverlust von dieser Stelle wurde wie der der bekleideten berechnet und mit 1,33 Kal. in Anrechnung gebracht.

Die unbehaarten Stellen massen 1200 qcm, die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Luft betrug 12,5° C. „Das spezifische Strahlungsvermögen der Haut unterscheidet sich nur wenig von den Kleidungsstoffen und steht den glatteren derselben, zu welchen auch die Kammgarne gehören, nahe. Man hat sonach $12{,}5 \times 4{,}11 \times 0{,}12 = 6{,}15$ Kal. als Strahlung für die nackte Stelle pro Stunde. Die Summe der ganzen Strahlung beträgt demnach 49,2 Kal. pro Stunde = 1181 Kal. pro Tag."

Die gesamte Wärmebilanz für den gegebenen Fall berechnet nun Rubner wie folgt:

Wärmeabgabe durch	Absolut in Kal.	an % der Gesamtwärme
Atmung	35	1,29
Arbeit	51	1,88
Erwärmung der Kost	42	1,55
Wasserverdunstung	558	20,66
Leitung	833	30,85
Strahlung	1181	43,74

„Die Strahlung macht demnach den wesentlichsten Teil des Wärmeverlustes bei Personen aus, welche sich in annähernd ruhiger Luft bei 17,5° befinden."

Wir sehen daraus, dass die Strahlungsverhältnisse von einzigartigem Einflusse auf den Wärmehaushalt des Menschen sind, und dass alle Faktoren, welche die ersteren beeinflussen, auch den letzteren beeinflussen müssen.

Bei der grossen Rolle, welche bei diesen Strahlungsvorgängen die Kleidung spielt, sind die Untersuchungen über das Strahlungsvermögen der Kleidungsstoffe (68, 69), welche wir ebenfalls Rubner verdanken, von hohem Werte.

Nach Rubners Ermittelungen verhalten sich die Strahlungsvermögen verschiedener Kleidungsstoffe, bezogen auf das Strahlungsvermögen von Russ = 100, wie folgt:

Russ	100	Gewaschene Baumwolle	102,2
Glänzender Seidenstoff	83,3	Wollflanell	108,7
Appretierte Baumwolle	87,7	Trikotseide	109,9
Waschleder	95,5	Trikotbaumwolle	109,9
Sommerkammgarn	98,7	Trikotwolle	109,9

Es wird auffallen, dass die zuletzt genannten 5 Stoffe ein grösseres Strahlungsvermögen ergaben, als selbst Russ, der doch als ein nahezu idealer Strahler gilt. Der Befund erklärt sich jedoch ganz einfach daraus, dass die betreffenden Stoffe infolge ihrer Rauheit eine ganz bedeutend grössere Oberfläche haben als eine Russfläche von gleicher Ausmessung. Aber gerade aus demselben Grunde sind auch diese Stoffe für die Wärmeabfuhr des menschlichen Körpers von grösstem Einflusse. Der bekleidete Mensch wird daher auf die Strahlungsverhältnisse in seiner Umgebung sehr lebhaft reagieren.

Nun sind ja die Gegenstände unserer Umgebung keineswegs mit der Lufttemperatur immer ausgeglichen. So vermögen z. B. durchkältete oder feuchte, durch Verdunstung kühl bleibende Mauern, ebenso im Winter die kalten Fenster eine erhebliche Einbusse an strahlender Wärme an denjenigen Körperstellen zu veranlassen, welche ihnen zugekehrt sind. Die dazwischen liegende Luft vermag diesen Verlust nicht zu verhindern, auch wenn sie warm ist, denn sie ist ja für die Wärmestrahlung höchst durchlässig, diatherman. Und so tritt der eigentümliche Fall ein, dass der menschliche Körper auch in warmer Luft unter Umständen sehr empfindliche Wärmeverluste erleidet.

Ein besonderer Fall solchen Wärmeverlustes tritt in klaren Nächten beim Lagern im Freien ein. Unter diesen Umständen fällt die erwärmende Wirkung der Sonnenstrahlung weg, die Fläche der Körper strahlt auch nicht gegen Wolken, sondern gegen den leeren Himmelsraum, dessen Temperatur ausserordentlich niedrig sein muss. Es tritt daher selbst bei warmer Luft grosse Abkühlung ein. Der allen Lebewesen eigene Instinkt, nachts irgend ein schützendes Dach aufzusuchen, ist daher wohlbegründet.

39. Der menschliche Körper als Empfänger von Wärmestrahlung.

Unter den Wärmequellen, welche unserem Körper durch Strahlung einen Überschuss an Wärme zuzuführen vermögen, spielt die Sonne die weitaus wichtigste Rolle. Ihr Einfluss ist ein doppelter. Denn erstens wirkt die Strahlung der Sonne direkt mit grosser Energie ein, zweitens ist sie die Schöpferin nahezu aller Wärme auf der Erde, indem die Temperatur der Luft, des Wassers, der Erde fast ausschliesslich das Ergebnis absorbierter Sonnenstrahlung ist. Es ist hier nicht der Ort, diesen indirekten Einfluss der Sonnenstrahlung weiter zu verfolgen. Er bildet einen wesentlichen Inhalt der Meteorologie und der Klimatologie. Wir müssen uns mit der Betrachtung der direkten Wirkung der Sonnenstrahlung und der von ihr hervorgerufenen terrestrischen Strahlung auf den menschlichen Körper begnügen.

Es ist sehr schwer, ein absolutes Mass für die Wirkung der Sonnenstrahlung auf den menschlichen Körper zu gewinnen. Wir haben früher (s. o. 29) gesehen, dass die Messungen von Wärmestrahlung überhaupt nur relative Werte ergeben können, die immer nur für ein und dieselbe Messmethode Gültigkeit haben. Nun hat man mittels des Pouilletschen Pyrheliometers (69a) festgestellt, wieviele Kalorien die Sonnenstrahlung in der Zeiteinheit einer berussten Silberfläche von bestimmter Grösse unter bestimmten Bedingungen zuschickte. Diese Methode ist sehr wohl geeignet, die Einflüsse festzustellen, welche die Dicke und Beschaffenheit der Atmosphäre auf die von der Sonne ausgestrahlte Wärme ausüben. Auch das Strahlungsthermometer und vor allem das Langleysche Bolometer (s. o. 31) sind für derartige meteorologische Untersuchungen mit Erfolg verwendet worden. Das letztere bietet noch den grossen Vorteil, dass es nicht nur über die Menge, sondern auch über die qualitative Zusammensetzung der Strahlung uns Aufschluss gibt, also über die Intensität der Strahlung in den verschiedenen Bezirken des Wärmespektrums. Und das sind Angaben, welche auch für die physiologische Einschätzung der Sonnenstrahlung und der Wärmestrahlungen überhaupt von grossem Werte sein können. Aber über die Wirkung der Strahlung auf den menschlichen Körper geben uns alle diese Methoden keinen genügenden Aufschluss. Das zulässige Messinstrument für diesen Einfluss ist einzig und allein der unbekleidete und bekleidete menschliche Körper selbst.

Der menschliche Körper ist aber infolge seines komplizierten Baues und seiner komplizierten Funktionen ein sehr unvollkommener Messapparat. Trotzdem besitzen wir schon einige grundlegende Messungen

auf dieser Grundlage. Eine wichtige Reihe solcher Messungen verdanken wir wiederum Rubner und seiner Schule (70).

Unter den Reaktionen des menschlichen Körpers auf Wärmestrahlung überhaupt kann man subjektive, also solche, welche nur auf die Empfindung wirken, unterscheiden von objektiven, also von solchen, welche äusserlich wahrnehmbare Wirkungen haben.

Unser Gefühl für Wärmestrahlung ist nun sehr gering. Vergleicht man die Empfindlichkeit des Auges für leuchtende Wärmestrahlung mit der Empfindlichkeit unserer Haut für Wärmestrahlung im allgemeinen, so ergibt sich nach Rubner (71), dass unser Wärmegefühl 105 milliardenfach geringer ist als die Empfindlichkeit unseres Auges.

Trotzdem reicht diese Empfindlichkeit aus, um Strahlungsvorgänge, welche unseren Wärmehaushalt wesentlich beeinflussen können, zu empfinden. Nach Rubners Angaben verliert beispielsweise unter mittleren Verhältnissen der menschliche Körper pro qcm und Minute ungefähr 0,045 grkal Wärme. Nach Untersuchungen desselben Autors genügen nun 0,035 grkal zugestrahlte Wärme pro qcm und Minute, um Wärme wahrzunehmen. Doch ist diese Wahrnehmbarkeit von der Hauttemperatur abhängig. Bei wärmerer Haut fühlt man den Temperaturzuwachs etwas schneller. 0,1—0,2 grkal pro qcm und Minute nennen wir sehr warm, 0,3—0,4 heiss, die letztere Erwärmung ist auf die Dauer unerträglich. Wenn uns strahlende Wärme trifft, so wird die Haut wärmer, schon einen Zuwachs von 0,4° fühlt man, eine Zunahme von 1,1° ist störend und lästig (70). Diese Resultate sind mit Heizkörpern (Argand- und Auerbrennern) gewonnen.

Es ist jedoch nicht zulässig, solche mit einer bestimmten Strahlungsquelle gewonnene Resultate zu verallgemeinern, denn für die Wirkung auf den menschlichen Körper kommt eben nicht nur der mit den physikalischen Messinstrumenten festgestellte Kalorienwert der Strahlung in Betracht, sondern ganz wesentlich auch ihre qualitative Zusammensetzung.

Für die Wirkung der Sonne, deren Strahlungsmaximum weit mehr nach der Seite der kurzwelligen Strahlen gelegen ist, als das der irdischen Wärmequellen, ergaben sich Rubner daher ganz andere Resultate (72). Nach diesen Untersuchungen wirft die Sonne selbst im Herbst noch Wärmemengen von 1,0 grkal pro qcm und Minute auf die Haut, also relativ enorme Wärmemengen. Trotzdem werden diese Strahlen von den Menschen besser vertragen als die Wärmestrahlen irdischer Wärmequellen. Rubner hat gefunden, dass unsere Haut für die kurzwelligen Strahlen, welche man als Licht bezeichnet, bei gleichem Wärmewert keineswegs so empfindlich ist wie für dunkele Wärmestrahlen. Wenn er die Strahlen

eines Bogenlichtes durch eine Wasserschicht gehen lässt, welche die dunklen Strahlen grösstenteils zurückhielt und sie dann auf die Gesichtshaut wirken liess, so wurde die Versuchsperson weiter gar nicht dadurch belästigt, obschon dabei 0,55—0,74 grkal die Haut trafen.

Diese abweichenden Resultate hängen offenbar mit der selektiven Absorption der verschiedenen Bestandteile des lebenden Gewebes zusammen. Die Wärmestrahlen verschiedener Wellenlängen werden ganz verschieden von den einzelnen Bestandteilen des lebenden Gewebes absorbiert. Sie wirken deswegen auch verschieden. Für die ultravioletten Strahlen (72a) besitzen die Elemente der Epidermis, der Cutis und die Eiweissstoffe des Serums ein ganz bedeutendes Absorptionsvermögen, so dass wenig davon in das Innere des Körpers einzudringen vermag. Für die leuchtenden Wärmestrahlen besitzt das gesammte Gewebe und besonders die Haut eine ziemlich beträchtliche Diaphanie, wie der Augenschein ohne weiteres lehrt, so dass sie in beträchtliche Tiefen des Körpers einzudringen vermögen. Nur werden durch die bekannte spezifische Färbung des Hämoglobins die Strahlen zwischen D und E des Spektrums im Blute stark absorbiert. Bei dem sehr hohen Gehalt der Sonnenstrahlung an leuchtenden Strahlen ist diese Durchlässigkeit von grosser Bedeutung. Denn wahrscheinlich sind darauf die tiefgreifenden Wirkungen der Sonne auf den ungeschützten Körper und insbesondere die Erscheinungen des Sonnenstiches zurückzuführen. Sehr interessante Untersuchungen hat hierüber P. Schmidt angestellt (73). Dieselben ergaben, dass die Schädeldecke in ihrer gesamten Dicke inklusive einer dünnen Haarschicht durchgängig für die Strahlung sei und dass die Blutzirkulation dabei zu vernachlässigen sei. Die Gehirnsubstanz sei aber weniger diatherman, als die übrigen Gewebe. Dadurch würde eine Wirkung der Strahlung gerade aufs Gehirn infolge starker Absorption gefördert. Hochgradig anämisches Blut ergab sich als unverhältnismässig viel mehr diatherman, als solches von geringer Anämie. Als Strahlungsquelle diente eine Nernstlampe.

Die ultraroten Strahlen werden dagegen von dem Wasser des menschlichen Körpers sehr stark absorbiert, so dass diese auch nicht in beträchtliche Tiefen des feuchten Gewebes eindringen können.

Über die objektiven Wirkungen der Strahlung hat wiederum Rubner mit seiner Schule wichtige Untersuchungen angestellt (74). Dieselben ergaben, dass bei Tieren die Wärmeregulation durch einen Überschuss von 18° C. der Sonnentemperatur (welche durch ein Strahlungsthermometer gemessen wurde) über die Lufttemperatur ebenso beeinflusst werde, wie durch ein Steigen dieser Lufttemperatur von 25° auf 33,5°,

das ist um 8,5° C. Im vollkommenen Einklang mit diesen Ergebnissen bei Tieren fand Wolpert (75): „Die Wirkung der Besonnung auf den Gaswechsel der Menschen äussert sich darin, dass die wärmende Wirkung der Sonne in einer dem Steigen der Lufttemperatur gleichwertigen Weise, nach Massgabe der Hälfte des Temperaturüberschusses der Sonnen- über die Schattentemperatur, zutage tritt". Es kann also auch bei relativ niedriger Lufttemperatur dem Körper durch Strahlung eine grosse Menge Wärme zugeführt werden.

Beim bekleideten Menschen hat die Wärmestrahlung noch einen weiteren indirekten Erfolg, den ebenfalls Wolpert (76) feststellte. Er fand, dass die Kleiderluft in der Sonne, solange man nicht stark schwitzt, fast stets eine erheblich niedrigere relative Feuchtigkeit und ein erheblich niedrigeres Sättigungsdefizit als beim Aufenthalt im Schatten zeigt, woraus hervorgeht, dass in der Sonne die Verdunstung unter den Kleidern erheblich erleichtert ist. Bei dem hohen Gehalt der Sonnenstrahlen an leuchtenden Wärmestrahlen kommt der Farbe der Kleidungsstoffe ein grosser Einfluss zu (77). Dunkle Stoffe absorbieren viel mehr Sonnenwärme, als helle. Bei der Absorption dunkler Strahlung spielt die Farbe der Stoffe aber keine Rolle.

Wir sehen also, dass die Strahlung einen sehr grossen Einfluss auf den menschlichen Körper besitzt. Unsere Kenntnisse über diesen Einfluss sind allerdings noch Stückwerk. Und so entbehren auch noch die therapeutischen Anwendungen der Wärmestrahlung, welchen wir uns jetzt zuwenden wollen, der einheitlichen und sicheren Grundlage.

40. Über die therapeutisch verwendeten Wärmestrahlungen.

Für eine rationelle Verwendung der Strahlungsvorgänge in der Therapie ist es von allergrösster Wichtigkeit, dass man sich über die eigentümlichen Gesetze, welchen die Strahlung unterworfen ist, vollkommen im klaren ist. Eine künstliche Vermehrung der Ausstrahlung des menschlichen Körpers zu therapeutischen Zwecken hat unseres Wissens bisher noch keine bewusste Anwendung gefunden. Wir können uns daher im folgenden darauf beschränken, uns mit künstlich vermehrter Zustrahlung zu therapeutischen Zwecken zu beschäftigen.

Bei der Beurteilung dieser Zustrahlungen dürfen wir niemals vergessen, dass sie ein Gemisch verschiedenartiger Strahlen darstellen. Es kommt daher für uns nicht nur die Mächtigkeit der Zustrahlung als Ganzes in Betracht, ihr Kalorienwert, sondern auch der Anteil, welchen die einzelnen Komponenten der Strahlung daran haben. Denn jede Strahlung wirkt direkt nur an der Stelle, wo sie absorbiert ist, und

das Absorptionsvermögen der Gewebsteile für verschiedene Strahlungen ist ein sehr verschiedenes. Von diesem Gesichtspunkte aus müssen wir uns sagen, dass es einerseits unzweckmässig ist, die Betrachtung der Lichtstrahlung von derjenigen der ultraroten und der ultravioletten Strahlung prinzipiell abzutrennen. Anderseits müssen wir uns aber auch wieder sagen, dass ebenso wie in dem verhältnismässig sehr kleinen Gebiete der sichtbaren Wärmestrahlung sich schon deutliche Unterschiede in der Absorption und Wirksamkeit zeigen, noch viel mehr in dem grossen Gebiete der gesamten Wärmestrahlung Unterschiede bestehen werden, welche wir z. Z. noch nicht genügend kennen. Erfahrungen, welche wir mit einer bestimmten Wärmequelle machen, dürfen wir daher nicht auf andere Wärmequellen anwenden.

Die hervorragendste Rolle unter den therapeutisch angewendeten Wärmequellen spielt die Sonne. Als die eigentliche natürliche Wärmequelle hat sie schon von alters her Verwendung zu Heilzwecken gefunden (78) und die eigenartige Qualität ihrer Strahlung, insbesondere der hohe Betrag an leuchtenden Wärmestrahlen, geben ihr noch weiter eine einzigartige Stellung unter allen Strahlungsquellen. Sie ist eine der wichtigsten Faktoren eines Klimas. Rubner bezeichnet (79) den Sonnenschein als „die Grundlage für die Ausnutzbarkeit eines Klimas für therapeutische Zwecke“. Wenn man berücksichtigt, dass die Strahlung den wichtigsten Faktor des menschlichen Wärmehaushaltes bildet und dass die Sonnenstrahlung einen ganz ausserordentlich hohen Betrag erreicht (s. o.), so wird man das ohne weiteres verstehen.

Ganz besonders einflussreich ist der Sonnenschein beim Höhenklima. Dort erreicht die Strahlungswärme der Sonne die höchsten Grade. So fand Frankland beispielsweise, dass auf dem Bernina-Hospiz bei einer Schattentemperatur von 19,1 ° C. das Strahlungsthermometer 46,4 ° C. zeigte. Cayley sah in Leh (Tibet) in Höhe von 3500 m bei einer Schattentemperatur von 23,9° das Schwarzkugelthermometer in der Sonne auf 101,7 ° C. steigen! Da, wie wir oben gesehen haben, nach Wolpert die Sonnentemperatur auf den Gaswechsel der Menschen wirkt, wie eine Erhöhung der Lufttemperatur um die halbe Differenz zwischen Luft- und Strahlungstemperatur, so ergeben sich in diesen Höhen ganz gewaltige Einflüsse. Neben dieser Wärmewirkung kommen aber auch wohl noch andere Wirkungen der Sonnenstrahlung therapeutisch in Betracht, die wir noch nicht genügend übersehen. Bekannt ist die reaktive Bräunung und anhaltende Hyperämisierung der Haut, welche vorwiegend durch die kurzwelligen, leuchtenden und ultravioletten Strahlen verursacht wird (80).

Wegen ihrer hautreizenden und ihrer bakteriziden Wirkung sind die letzteren Strahlen von Finsen zu seiner bekannten Lupus-Therapie verwendet worden. Da die Verwendung der Sonnenstrahlen mit allerlei naheliegenden Schwierigkeiten verbunden ist, hat man auch verschiedene Arten von konzentriertem Bogenlicht statt dessen angewendet. Ueber die Zweckmässigkeit dieser Methoden wird zur Zeit noch diskutiert. Einen sehr dankenswerten neuen Gesichtspunkt hat kürzlich W. Scholtz (81) in dieser Diskussion beigebracht. Er wies nämlich nach, dass diese konzentrierten Strahlen, obwohl sie vorher durch Wasser filtriert und so von den dunkeln Wärmestrahlen befreit sind, doch infolge ihres sehr hohen Gehaltes an leuchtenden Wärmestrahlen, welche das Wasser nicht absorbiert, in der Tiefe der Haut sehr hohe Temperaturen zu erzeugen vermögen. Die beobachteten Wirkungen sind also vielleicht trotz aller Vorbeugungsmassregeln Hitzewirkungen, welche eben auf den eigenartigen Verhältnissen der Wärmestrahlung beruhen.

Während die Strahlung der Bogenlampen vorwiegend zur lokalen Behandlung äusserer Krankheitsherde verwendet wird, werden die Ausstrahlungen von Glühlampen vorwiegend zur allgemeinen Bestrahlung des Körpers in den bekannten Glühlichtbädern nach Kellog benutzt. Die Qualität dieser Strahlung ist eine wesentlich andere, als die des Sonnen- und des Bogenlichtes. Die Glühlampen haben eine viel geringere Temperatur, infolgedessen überwiegen in ihrer Strahlung bei weitem die ultraroten Strahlen über die sichtbaren Wärmestrahlen. Ultraviolette Strahlen sind fast gar nicht vorhanden. Man kann daher ihre Wirkung auch nicht wohl mit der jener anderen Strahlungen vergleichen. Doch ist es andererseits durchaus unrichtig, ihre Wirkung in erster Linie nach der Lufttemperatur beurteilen zu wollen, welche sie im Lichtbadekasten erzeugen. Vielmehr muss in erster Linie ihre Strahlungswirkung berücksichtigt werden, die sehr bedeutend ist. So ergab z. B. (82) bei einer

Lufttemperatur von . . .	37,5° C	65° C	83° C
der Strahlungs-Thermometer	50,5° C	78° C	102,5° C.

Diese Strahlung wird vom Körper stark absorbiert und erzeugt trotz ausgiebiger Blutzirkulation eine beträchtliche Erhitzung des oberflächlichen Gewebes. So stieg bei Bestrahlung mit einer Glühlichtlampe die Temperatur unter dem Präputium im Laufe von 10 Minuten von 32,8° C auf 42° C, also um 9,2° C und wesentlich über Bluttemperatur. Auch in der Harnröhre stieg die Temperatur und zwar binnen 10 Minuten von 35° C auf 40° C, um erst wieder 10 Minuten nach Beendigung der Bestrahlung auf 36,8° C zu sinken. Die auffallendste Wirkung der Glühlichtbäder ist Schweissentwicklung. Eine langdauernde Hyper-

ämisierung und Bräunung der Haut tritt bei diesen Applikationen jedoch nicht auf, eben weil vorwiegend langwellige Strahlen wirksam sind.

Diese beiden Haupttypen der Wärmebestrahlung sind zur Zeit die einzigen, welche methodisch angewendet werden. Es ist zu hoffen, dass es einer konsequenten Anwendung der Strahlungsgesetze auf derartige therapeutische Massnahmen gelingen wird, die schon vorhandenen Methoden mehr und mehr exakt zu gestalten und neue, praktisch verwendbare Methoden dazu zugewinnen.

Zitate.

1. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. I, 1, pg. 402.
2. Derselbe, Bd. I, 3, p. 669.
3. Ladenburg, Handwörterbuch der Chemie. Bd. VI, p. 443 f.
4. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie. Bd. II, p. 1015 f.
5. Robert Mayer, Mechanik der Wärme. Herausgegeben von Weyrauch.
6. Derselbe, Kleine Schriften und Briefe. Herausgegeben von Weyrauch.
7. Kirchhoff, Zur Geschichte der Spektralanalyse. Poggendorfs Annalen, Bd. CXVIII, 1862.
8. Derselbe, Chemische Analyse durch Spektralbeobachtungen. Ebenda, Bd. CX, pg. 186.
9. Derselbe, Gesammelte Abhandlungen. Leipzig 1882, p. 571 ff. Ueber das Verhältnis zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht.
10. Kayser, Lehrbuch der Spektralanalyse. p. 139.
11. Hertz, Untersuchungen über die Verbreitung der elektrischen Kraft. Leipzig 1892.
12. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Bd. II, 1.
13. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. II, 1, p. 403 ff.
14. R. Clausius, Die mechanische Wärmetheorie.
15. Stefan, Wiener Berichte. 79 (2), p. 391, 1879.
16. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. 2, p. 199.
17. Langley, Annalen de chim. et de phys. 6. Série. T. IX, Dec. 1886.
18. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, Bd. IV, Die Lehre von der Strahlung. pg. 384 ff.
19. Derselbe, Bd. II, Die Lehre von der Wärme. 221.
20. Draper, Philos. Mag. 3 serie. Bd. XXX, 1844.
21. v. Bezold, Wiedemanns Annalen. Bd. XXI, 175.
22. H. Kayser, Lehrbuch der Spektralanalyse. Kap. XI 587.
23. Magnus, Poggendorfs Annalen. CXXXIX, p. 431, 1870.
24. Melloni, Ebenda, XXXV, p. 325.
25. Winkelmann, Handbuch der Physik. Bd. II, 2, p. 142.
25a. Knoblauch, Poggendorfs Annalen, Bd. LXX.
26. Tyndall, Fragmente aus den Naturwissenschaften. Kap. VIII, 8.
27. Graham-Otto, Lehrbuch der Chemie. Bd. I, 1, § 220.
27a. Ostwald, Anorganische Chemie. p. 648.
28. Lothar Meyer, Die modernen Theorien der Chemie. p. 427.
29. Ostwald, Lehrbuch der allgemeinen Chemie.

30. Lothar Meyer, Die modernen Theorien der Chemie.
31. Ostwald, Lehrbuch der Allgemeinen Chemie. Bd. 2, 1. 1016.
32. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. II, 190.
33. Crookes, Quarter J. of sciences, July 1875.
34. Zöllner, Das Skalenphotometer. Leipzig, bei Stockmann.
35. Nobili, Bibliothèque universelle de Genève. T. XLIII, Poggendorfs Annalen, Bd. XX, p. 245.
36. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. Bd. II, p. 190.
37. Langley, Proc. Am. Acad. of arts and sc. 16, 1881, Bebl. 5, p. 191.
38. Herschel, Philos. Transact. of London R. Soc. for the year 1800; Gilb. Ann. Bd. VII.
39. Kayser, Lehrbuch der Spektralanalyse. Kap. IV und V.
40. Abney, Phil. Trans., 171, p. 653—667.
41. Kayser, Spektralanalyse.
42. Langley, Annalen chim. phys. (6), 9, p. 433, 1886.
43. Wiedemann, Die Lehre von der Elektrizität. II, 257.
44. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2, 2, p. 137.
45. A. Pflüger, Die Anwendung der Thermosäule im Ultraviolett. Annalen der Physik 1904, p. 890 ff.
46. Herschel, Phil. Mag. (3) 16, 1840.
47. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2, 2, p. 217.
48. Ebenda, p. 216.
49. Frankenhäuser, Das Licht als Kraft. p. 21.
50. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2,2, p. 220 und 232.
51. Ebenda, p. 237 ff.
52. Ebenda, 2, 1, p. 443.
53. Ebenda, 2, 2, p. 210.
54. Ebenda, p. 173.
55. Ebenda, p. 295.
56. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. Erg. Bd., p. 346 ff.
57. Valentiner, Handwörterbuch der Astronomie. III, 2, p. 59.
58. H. Kayser, Lehrbuch der Spektralanalyse. p. 193.
59. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2, 2, Tabellen Ph. 544—549.
60. W. Huggins, On the limit of sun, and. star light in the ultraviolet spectrum. Proc. Roy. soc., 46, 133. Ref. Fortschr. der Physik, 1889.
61. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2, 2, 232.
62. Ebenda, p. 233.
62a. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. 4, p. 406.
63. Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik. 2, 2, p. 653.
64. Winkelmann, Handbuch der Physik. 2, 2, Fig. 549 und 550.
65. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. 2, 221.
66. M. Rubner, Zur Bilanz unserer Wärmeökonomie. Archiv für Hygiene, XXVII, 69.
67. Derselbe, Archiv für Hygiene, XVII, 1.
68. Derselbe, Vergleich des Wärmestrahlungsvermögens trockener Kleidungsstoffe. Archiv für Hygiene, XVI, 101.
69. Derselbe, Das Strahlungsvermögen der Kleiderstoffe nach absolutem Masse. Archiv f. Hygiene, XVII, 1.

69a. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik. II, 379.
70. M. Rubner, Klimatotherapie in Goldscheider und Jacobs Handbuch der Physikalischen Therapie. I, 1, p. 52.
71. Derselbe, Archiv für Hygiene, XXIII, 369.
72. Derselbe, Archiv für Hygiene, XXIII, 128 u. 146.
72a. Kromayer, Eisenlicht, Experimentelle und klinische Untersuchungen. Dermatologische Zeitschrift. Bd. X, p. 1, 1903.
73. P. Schmidt, Über Sonnenstich und über Schutz gegen Wärmestrahlung, Archiv für Hygiene, XLVII, 262.
74. M. Rubner und Cramer, Über den Einfluss der Sonnenstrahlung auf Stoffzersetzung, Wärmebildung und Wasserdampfabgabe der Tiere. Archiv für Hygiene, XX, 345.
75. H. Wolpert, Über den Einfluss der Besonnung auf den Gaswechsel der Menschen. Archiv für Hygiene, XLIV, 322.
76. H. Wolpert, Über den Einfluss der Besonnung auf den Wasserdampfgehalt der Kleiderluft. Archiv für Hygiene, XLVIII, 107.
77. John Tyndall, Fragmente aus den Naturwissenschaften IX. Ueber strahlende Wärme und ihre Beziehungen zur Farbe usw.
78. J. Marcuse, Historische Einleitung zur Lichttherapie in Goldscheider und Jacobs Handbuch der Physikalischen Therapie. I, 2.
79. M. Rubner, Klimatotherapie in Goldscheider und Jacobs Handbuch der Physikalischen Therapie. I, 1, p. 65.
80. Frankenhäuser, Das Licht als Kraft.
81. W. Scholtz, Über die Bedeutung der Wärmestrahlen bei der Behandlung mit konzentrischem Licht nach Finsen. Berliner klinische Wochenschrift 1904, No. 18.
82. Frankenhäuser, Über die strahlende Wärme und ihre Wirkung auf den menschlichen Körper. Zeitschrift für diätetische und physikalische Therapie, 1903/1904, Bd. VII, Heft 7.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Breslau und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.

Heft 3.

Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.

Von
Dr. Stephan Leduc,
Professor an der École de Médecine in Nantes.

Mit 26 Abbildungen und Kurven.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes, darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. 29 S. 1904. M. —.80.

Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. 50 S. 1904. M. 1.20.

Heft 3: **Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes. 47 S. mit 26 Abb. 1905. M. 1,50.

Heft 4: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. L. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in **Breslau.**

Jährlich 12 Hefte. * Abonnementspreis Mk. 12.—.

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

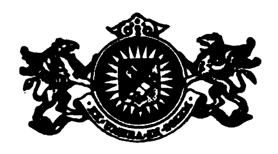
Heft 3.

Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.

Von

Dr. Stephan Leduc,
Professor an der École de Médecine in Nantes.

Mit 26 Abbildungen und Kurven.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Inhalts-Verzeichnis.

I. Allgemeine Theorieen.

Der Körper der lebenden Wesen ist ein Elektrolyt. Unter der Bezeichnung Elektrolyse haben wir alle diejenigen chemischen Veränderungen zu untersuchen, welche der Verlauf des elektrischen Stromes in diesem eigenartigen Elektrolyten hervorruft.

Die Theorie der elektrolytischen Leitung, wie sie 1805 Grotthus formuliert hat, ist lange Zeit klassisch geblieben. Sie sagt aus, dass der elektrische Strom selbst das Molekül des Elektrolyten zersetzt. Wenn dem so wäre, so müssten die durch die geringste Affinität mit einander verbundenen, die leichtest zersetzbaren Substanzen die besten Elektrolyten sein; es ist aber gerade das Gegenteil der Fall: die durch die stärksten chemischen Affinitäten zusammengehaltenen Substanzen, die starken Säuren, die Alkalisalze bilden die besten Leiter, die bei der Stromleitung anscheinend am leichtesten zersetzlichen Substanzen. Ferner müsste, wenn der elektrische Strom die Zersetzung des Elektrolyten verursachte, es sich herausstellen, dass dabei eine Menge elektrischer Energie verbraucht wird, welche der für diese Zersetzung erforderlichen Energie proportional ist. Nun gibt ein Strom beim Durchfliessen eines Elektrolyten keine andere Energie ab, als diejenige, die man, nach dem Jouleschen Gesetze, in der Form der Wärme wiederfindet; er gibt keine Energie an den Elektrolyten zur Herbeiführung chemischer Zersetzung ab.

1857 wies Clausius darauf hin, dass, wenn der elektrische Strom erst die Zersetzung herbeiführte, dann die elektrische Kraft, welche die Bestandteile des Moleküls zu trennen strebe, einen gewissen Wert erreichen müsse, unterhalb dessen kein Strom passieren könnte; im Augenblicke aber, wo diese Kraft grösser würde als die chemische Affinität, die Zersetzung sich stürmisch in der ganzen Masse des Elektrolyten entwickeln müsse. Nun vollzieht sich die Abscheidung der zersetzten Stoffe nur an den Elektroden; andrerseits wächst die Geschwindigkeit der Abscheidung regelmässig mit der Stromstärke, sie zeigt für keinen ihrer Werte eine brüske Variation.

Arrhenius hat 1887 eine Theorie formuliert, wonach es das Lösungsmittel, das Wasser, ist, was die Moleküle zersetzt, sie in Ionen

dissoziiert, welche einfache Substanzen oder Radikale sein können. Die für diese Leistung nötige Energie ist ein Teil der bei der Lösung absorbierten Wärme; man nennt sie Ionisierungs-Wärme. Da immer nur ein Teil der gelösten Moleküle dissoziiert wird, enthält eine elektrolytische Lösung mittlerer Konzentration, z. B. eine Kochsalzlösung, drei Arten von Partikeln oder Molen: nicht dissoziierte, elektrisch neutrale NaCl-Moleküle, negativ geladene Cl-Anionen, positiv geladene Na-Kationen. In einer elektrolytischen Lösung ist die Zahl der positiven Ladungen immer gleich der Zahl der negativen Ladungen; das gilt aber nicht für die Ionen, da ein Ion zwei, drei, vier oder fünf elektrische Ladungen tragen kann, denn die Valenz ist durch die Zahl der elektrischen Ladungen bestimmt.

So ist z. B. das Eisen, das in Eisenchlorür zweiwertig ist und zwei positive Ladungen trägt, die imstande sind, die negativen Ladungen von zwei Chlorionen zu binden, im Eisenchlorid dreiwertig, trägt drei positive elektrische Ladungen und kann die negativen Ladungen von drei Chlorionen binden.

Bringt man in einen Elektrolyten eine positive und eine negative Elektrode, so zieht nach den elektrostatischen Gesetzen die positiv geladene Anode die negativ geladenen Anionen an und stösst die positiv geladenen Kationen ab. Die negativ geladene Kathode zieht die positiv geladenen Kationen an und stösst die negativ geladenen Anionen ab. Unter dieser Einwirkung setzen sich die Ionen in Bewegung, transportieren ihre elektrische Ladung nach den Elektroden, die sie neutralisieren und bilden auf diese Weise den elektrischen Strom, der sich aus der Fortführung der elektrischen Ladungen durch die ponderable Masse der Ionen ergibt.

Die Einheiten oder Gruppen, deren Vereinigung oder Trennung die chemischen Reaktionen hervorbringen, können also in neutralem Zustande, ohne elektrische Ladung, oder im Zustande elektrisch geladener Ionen existieren.

Die chemischen Reaktionen bestehen in der Ladung oder Entladung von Ionen. Die chemischen und die physiologischen Eigenschaften hängen viel mehr von der Gruppierung von Ionen als von der Natur der in Betracht kommenden Substanzen selbst ab.

So präzipitiert das Silbernitrat das Ion Chlor, Cl, aber nicht das Chlor der Ionen ClO^3 oder $C^2H^3 ClO^2$; so ist das Arsenik sehr giftig in dem Ion arsenige Säure, sehr wenig toxisch im Kakodyl-Ion.

Im Jahre 1833 entdeckte Faraday das Gesetz des Verhältnisses zwischen den elektrolytischen Wirkungen und den Elektrizitätsmengen: Um an den Elektroden ein Gramm-Molekül irgend eines

Radikals zur Abscheidung zu bringen, sind pro Valenz dieses Radikals 96537 Coulomb erforderlich.

Wenn man eine elektrolytische Zelle durch eine poröse Scheidewand teilt, so findet man nach der Zersetzung eines oder mehrerer Äquivalente eine ungleiche Verteilung der Verluste. Beim Kupfersulfat z. B. trägt die negative Zelle $^2/_3$ des Verlustes, die positive nur $^1/_3$. Schon 1853 hat Hittorf eine ingeniöse Erklärung dieser Erscheinung gegeben, die folgendes Schema veranschaulicht.

	=	=	=		=	=	=	
—	SO^4	SO^4	SO^4		SO^4	SO^4	SO^4	+
	++	++	++		++	++	++	
	Cu	Cu	Cu		Cu	Cu	Cu	

Fig. 1, vor dem Passieren des Stroms.

				=		=	=				
—				SO^4		SO^4	SO^4	SO^4	SO^4	SO^4	+
				++		++	++				
	Cu	Cu	Cu	Cu		Cu	Cu				

Fig. 2, nach dem Passieren des Stroms.

Fig. 1 bedeutet eine elektrolytische Zelle, welche Kupfersulfat enthält, die vertikale Linie bedeutet die poröse Scheidewand, welche diese Zelle in zwei gleiche Teile scheidet. Fig. 2 zeigt den Zustand der Zelle nach dem Passieren des Stroms unter der Annahme, dass das Säure-Radikal sich doppelt so schnell bewegt als das Kation, d. h., dass zwei Säureradikale die Scheidewand passieren, während gleichzeitig nur ein Ion Kupfer nach der Kathode wandert. Man sieht, dass sich auf jeder Elektrode drei Ionen abgeschieden haben, aber infolge der verschiedenen Ionen-Geschwindigkeit enthält die negative Hälfte der Zelle nur noch ein Molekül Kupfersulfat, während die positive Hälfte deren noch zwei enthält und nur ein Drittel ihrer Konzentration verloren hat.

Man sieht somit leicht, dass die Ionen sich mit verschiedener Geschwindigkeit in entgegengesetztem Sinne bewegen und dass die Konzentrations-Verluste n an der Kathode und (1-n) an der Anode sich zu einander verhalten, wie die Geschwindigkeit der Anionen u zu der der Kationen v; es ist also $\frac{n}{1-n} = \frac{u}{v}$ und man hat in den Verhältnissen der Konzentrationsverluste ein Mittel zur Bestimmung der relativen Ionen-Geschwindigkeiten.

1876 verglich Kohlrausch unter gleichen Bedingungen die Leitfähigkeit von Salz-Lösungen, bei gleichem Anion nacheinander drei oder mehr verschiedene Kationen, z. B. untersuchte er erst die Leitfähigkeit der Chloride von Natrium, Kalium und Ammonium, dann die der Bromide, darauf die der Jodide dieser Metalle:

$$Cl — K — Na — NH^4$$
$$Br — K — Na — NH^4$$
$$I — K — Na — NH^4.$$

Er fand zwischen verschiedenen Salzen mit demselben Kation dieselben Leitfähigkeitsunterschiede, die also nur von der Verschiedenheit der Anionen herrührten und sich unabhängig von dem Kation, mit dem die Anionen verbunden waren, erwiesen.

Der analoge, mit drei oder mehr Kationen, die mit verschiedenen Anionen verbunden waren, angestellte Versuch, z. B.:

$$K — Cl — Br — J$$
$$Na — Cl — Br — J$$
$$NH^4 — Cl — Br — J$$

zeigte gleichfalls zwischen der Leitfähigkeit von Salzen mit demselben Anion, aber mit verschiedenen Kationen, immer dieselben Differenzen für dieselben Kationen, unabhängig von den Anionen, mit denen sie verbunden waren.

Das Kohlrauschsche Gesetz lässt sich durch die Formel:

$$C = X\ (u + v)$$

darstellen, in der C die Leitfähigkeit des Salzes, X den Anteil des Elektrolyten an dissoziierten Ionen und v und u die Anionen- und Kationen-Geschwindigkeiten darstellt. Wenn der Elektrolyt vollständig dissoziiert ist, wird $X = 1$ und die Formel lautet

$$C = u + v.$$

Man bezeichnet mit spezifischer Leitfähigkeit (umgekehrter Widerstand, $C = \frac{1}{R}$ in Ohm) die Leitfähigkeit eines Kubikzentimeters eines Elektrolyten.

Man nennt molekuläre Leitfähigkeit die eines Elektrolyten, der zwischen parallelen und um einen Zentimeter von einander abstehenden Elektroden ein Molekül enthält; sie ist gleich der spezifischen Leitfähigkeit, multipliziert mit dem Molekül-Volumen, $u = yv$.

Die molekulare Leitfähigkeit variiert mit dem Verdünnungsgrade und folglich mit dem Molekül-Volumen. Ist die Dissoziierung vollständig,

so erreicht die molekulare Leitfähigkeit ihr Maximum, man stellt sie dann durch das Symbol ∞ dar.

Zusammenfassend finden wir, dass die elektrolytische Leitfähigkeit proportional ist der Zahl der Ionen, ihrer Ladung und ihren Geschwindigkeiten.

II. Der elektrische Strom in den lebenden Organismen.

Die mit Salzlösungen imprägnierten lebenden Gewebe sind Elektrolyte; die durch die Erforschung der Elektrolyte gewonnenen Erkenntnisse sind direkt auf sie anwendbar.

Die elektrische Leitfähigkeit des menschlichen Körpers ist die elektrolytische Leitfähigkeit.

Beim Studium der chemischen Wirkungen, welche durch die Durchströmung des menschlichen Körpers hervorgerufen werden, empfiehlt es sich, die polaren von den interpolaren Wirkungen zu trennen.

Die in der Medizin verwendeten Elektroden sind bald unabgreifbar, wie Kohle, Platin usw., bald angreifbare Elektroden, wie Zink, Kupfer usw., bald Elektrolyten-Elektroden, aus wässrigen Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen.

Im Falle der unangreifbaren Elektroden werden die Anionen, nachdem sie bei Erreichung der Anode ihre Ladung abgegeben haben, zu Anhydriden, aus denen sich unter Wasserstoffaufnahme aus den Geweben die entsprechenden Säuren bilden; die Wasserstoffabgabe seitens der Gewebe vollzieht sich unter Zerstörung von Gewebselementen:

$$2\,Cl + H^2O = 2HCl + O;$$

es wird dabei Sauerstoff frei.

Die Kationen werden bei Erreichung der Kathode zu Alkali-Metallen, entziehen den Geweben, die dabei gleichfalls zerstört werden, die Hydroxyl-Gruppe und rufen eine Wasserstoffentwicklung hervor;

$$K + H^2O = KOH + H.$$

Verwendet man Elektroden, welche durch die Produkte der Elektrolyse angegriffen werden — man spricht dann in der Medizin von löslichen Elektroden — so vollzieht sich an der Anode zunächst Säurebildung unter Gewebszerstörung, dann Zersetzung der Elektrode durch die gebildete Säure, es bildet sich ein Salz des Elektrodenmetalls, das dann seinerseits die Erscheinungen ergibt, wie sie den elektrolytischen Elektroden eigentümlich sind.

Verwendet man Elektrolyten-Elektroden, so tritt die doppelte Ionen-Wanderung zwischen der Anode und der Kathode (beides Metalle) auf; es ergibt sich dann an den Berührungsflächen zwischen den verschiedenen Geweben und an der zwischen der Haut und dem flüssigen Elektrolyten der Elektroden ein Ionen-Austauch. An der Anode gibt der Körper seine Anionen ab und erhält die Kationen der Elektrode; an der Kathode gibt der Körper Kationen ab und empfängt die Anionen der Elektrode. Man kann also unter der Anode Kationen in den Körper einführen und unter der Kathode Anionen.

Die Elektrolyten-Elektroden können aus Lösungen von Salzen, Säuren oder Basen bestehen.

Bekanntlich können alle Salze aus einem Säure- oder Halogen-Radikal, das negativ ist — $\overset{-}{R}$ — und einem elektropositiven Metalle $\overset{+}{M}$ durch die Formel R^{m-} M^{n+} dargestellt werden. Das Metall dringt unter der Anode in den Körper ein, das saure Radikal unter der Kathode. Als Resultat ergibt sich ein Wechsel der Beschaffenheit der Salze des Organismus; die Säure verändert sich unter der Kathode, das Metall unter der Anode, wenn das Radikal und das Metall nicht dieselben sind, wie die des Organismus. Bei der Verwendung von Elektroden aus Kochsalzlösungen sind die Vorgänge unter den Elektroden auf ein Minimum beschränkt, ohne doch ganz zu fehlen, denn das Chlor ist nicht das einzige elektronegative Radikal des Organismus, das Natrium nicht sein einziges elektropositives Ion und die ausschliessliche Substitution von Chlornatrium für alle Salze des Organismus hat Konsequenzen, die zum Absterben von Gewebe führen können.

Kurz, die aus Salzlösungen bestehenden Elektroden lassen unter der Kathode ihre sauren Radikale eindringen, die auf die Gewebe zum grossen Teile so wirken, wie die entsprechenden Natronsalze: Jodüre, Sulfate, Phosphate, Sulfide, Bichromate, Salicylate des Natrons. Unter der Anode wird das Metall des Salzes eingeführt, es wirkt im ganzen so, wie sein Chlorid wirken würde. Man kann also vermuten, welche Wirkung die Ionen eines Salzes haben werden, wenn man weiss, wie die Natronsalze seiner Säure und wie die Chloride seines Metalls auf die Gewebe wirken.

Stellen wir den Körper durch eine Chlornatrium-Lösung dar und die Elektroden durch eine Jodkalium-Lösung. Beim Fortschreiten des Stromes rücken alle Kationen gegen die Kathode, alle Anionen gegen die Anode vor, die Kaliumionen dringen an der Anode, die Jodionen an der Kathode in den Körper.

	Anode		Körper			Kathode		
+	+	+	+	+	+	+	+	
	K	K	Na	Na	Na	K	K	—
	—	—	—	—	—	—	—	
	J	J	Cl	Cl	Cl	J	J	

vor dem Eintreten des Stroms;

		Anode		Körper		Kathode			
		+	+	+	+	+			
+		K	K	Na	Na	Na	K	K	—
		—	—	—	—	—			
	J J	Cl	Cl	Cl	J	J			

nach dem Eintreten des Stroms.

Alle sauren Lösungen besitzen das nämliche Kation: den Wasserstoff; sie bilden demnach alle äquivalente Anoden. Sind unsere Lösungen hinreichend verdünnt, sodass eine unmittelbare Wirkung der Säuren auf die Haut nicht stattfindet, so werden Salz-, Schwefel-, Phosphorsäure, organische Säuren usw. genau denselben Endeffekt äussern. Stellen wir den Körper durch eine Kochsalz-, die Elektroden durch eine Säurelösung $(\overset{-}{R}\overset{+}{H})$ dar:

	Anode		Körper			Kathode		
	+	+	+	+	+	+	+	
+	H	H	Na	Na	Na	H	H	—
	—	—	—	—	—	—	—	
	R	R	Cl	Cl	Cl	R	R	

vor dem Eintritt des Stroms;

		Anode		Körper		Kathode			
		+	+	+	+	+			
+		H	H	Na	Na	Na	H	H	—
		—	—	—	—	—			
	R R	Cl	Cl	Cl	R	R			

nach dem Eintritt des Stroms.

Man ersieht, dass nach Eintreten des Stroms, welche auch immer die verwendete Säure gewesen sei, an der Anode Ersatz der Metalle der Gewebe durch Wasserstoff stattfindet, der mit den negativen Radikalen der Salze des Organismus die betreffenden Säuren rekonstituiert. Die Chloride werden ersetzt durch Salzsäure, die Sulfate durch Schwefelsäure, die Phosphate durch Phosphorsäure usw.

Alle basischen Elektroden besitzen das gleiche Anion, das Hydroxyl $(\overset{+}{O}H)$, sie bilden also sämtlich äquivalente Kathoden. Ist die Lösung verdünnt genug, um eine direkte kaustische Einwirkung auf die Haut auszuschliessen, so werden Kalium, Natrium, Lithium, organisches Alkali als

Kathode genau dieselben Enderscheinungen hervorrufen. Stellen wir den Körper durch eine Kochsalz-, die Elektroden durch basische Lösungen OH^{m-} M^{n+} dar, so haben wir:

Anode		Körper			Kathode	
+	+	+	+	+	+	+
M	M	Na	Na	Na	M	M
—	—	—	—	—	—	—
OH	OH	Cl	Cl	Cl	OH	OH

vor dem Eintritt des Stroms;

	Anode			Körper			Kathode	
		+	+	+	+	+		
		M	M	Na	Na	Na	M	M
		—	—	—	—	—		
OH	OH	Cl	Cl	Cl	OH	OH		

nach dem Eintritt des Stroms.

Wirkungen des Stroms an den Elektroden (polare Wirkungen).

Man sieht, dass nach dem Eintreten des Stroms, welches auch die angewendete Base sei, an der Kathode Substitution des Hydroxyls OH für die sauren Radikale der Gewebe stattfindet und dies rekonstituiert mit den Metallen des Organismus die betreffenden Basen. Die Natriumsalze werden ersetzt durch Natrium, die Kalisalze durch Kalium usw.

Interpolare Wirkungen.

Die Doppelströmung, durch welche die Anionen zur Anode, die Kationen zur Kathode getrieben werden, besteht überall in der Tiefe der Gewebe, wo der elektrische Strom zirkuliert; hieraus resultiert an jeder Trennungsfläche zweier chemisch differenter Flüssigkeitsinhalte eine Änderung in dieser ihrer chemischen Konstitution, Umsetzungen, welche leicht darzustellen sind, wenn man sich, wie oben, S. 11, das Verhalten einer Kochsalzlösung zwischen zwei Jodkalilösungen vergegenwärtigt. Man sieht, dass hier beim Eintreten des Stromes Kalium in die Kochsalzlösung auf der Anodenseite, Jod auf der Kathodenseite eindringt und das Ergebnis ist in der mittleren Lösung Ersatz des Kochsalzes durch das Jodkali der Nachbarschaft.

Man könnte glauben, dass diese Substitution auf einfache Diffusion zurückzuführen wäre ohne Beteiligung des elektrischen Stroms, aber eine grosse Zahl von Versuchen, auf welche wir noch zurückkommen werden, beweist, dass der elektrische Strom die elektrolytischen Substanzen in

das Protoplasma hineintreibt, welches ohne Mitwirkung des Stroms für diese Stoffe völlig undurchdringlich ist.

Wenn der elektrische Strom von einem chemischen Medium zum andern übergeht, so bezeichnet man das erstere als positiv, das zweite als negativ; das Endergebnis des Stromablaufs ist in dem positiven Leiter der Ersatz seiner Anionen durch jene des negativen Leiters und für diesen der Ersatz seiner Kationen durch die des positiven.

Experimentelle Ergebnisse.

Die bis hierher innegehaltene Darstellungsweise folgt der heutigen Theorie der Elektrolyse, gemäss der von uns ausgesprochenen Voraussetzung: Die lebenden Gewebe sind Elektrolyten und die durch die Untersuchung der Elektrolyten gewonnenen Erkenntnisse sind unmittelbar auf sie anwendbar. Wir wollen nun sehen, wie das Experiment die theoretische Deduktion bestätigt.

Die Beobachter, welche die elektrolytische Absorption untersucht haben, erwiesen diese durch die chemisch-analytische Ermittelung von Ionen im Urin und Geweben oder durch die Hervorrufung physiologischer Erscheinungen: von Konvulsionen mit Hilfe von Strychnin, von Pupillenerweiterung durch Atropin, von Anästhesie durch Cocaïn, von Schweissausbruch durch Pilokarpin usw.

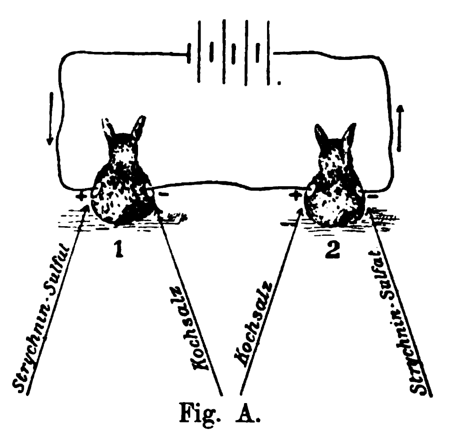


Fig. A.

Gegen die Methode des Nachweises auf dem chemischen Wege und dem der Hervorrufung physiologischer Wirkungen warf man ein, dass die Absorption durch die Haut geschähe, ohne dass der Strom dabei mitwirke; die elektrolytische Absorption wurde noch lange von der Mehrzahl der Physiologen und Ärzte bestritten.

Die Methode der in Serie vorgenommenen Tierelektrisierung beseitigt die oben erwähnten Einwände. Die Tiere werden sämtlich in ein und demselben Strom eingeschaltet derart, dass dieser durch das eine Tier ein- und durch das andere austritt, und zwar mittels einer Elektrode, welche das toxische Ion in Lösung erhält, während die beiden anderen Elektroden aus einer harmlosen Substanz, etwa einer Kochsalzlösung bestehen. Bei diesem Versuche wird ein Kaninchen mit einer Anode von Strychninsulfat oder einer Cyankalikathode schnell getötet, während

die übrigen denselben Strömen und Kontakten ausgesetzten Tiere, wenn sie nur das Strychnin an der Kathode, das Cyankali an der Anode haben, Widerstand leisten und am Leben bleiben.

In dem einen Versuche dringt das mit dem Strome fortgeführte Strychnin, welches nur in absteigender Richtung, nicht in aufsteigender, sich bewegt, in das Versuchstier I und dieses geht zugrunde, es verschont aber das Tier II, und dieses, obwohl in demselben Stromkreise und unter gleicher chemischer Applikation, bleibt am Leben.

Einen weiteren Beweis für die elektrolytische Ionenwanderung erhält man bei Anwendung farbiger Ionen.

Wenn man z. B. als Elektroden eine Kaliumpermanganatlösung verwendet, so dringt Kalium an der Anode, an der Kathode das Per-

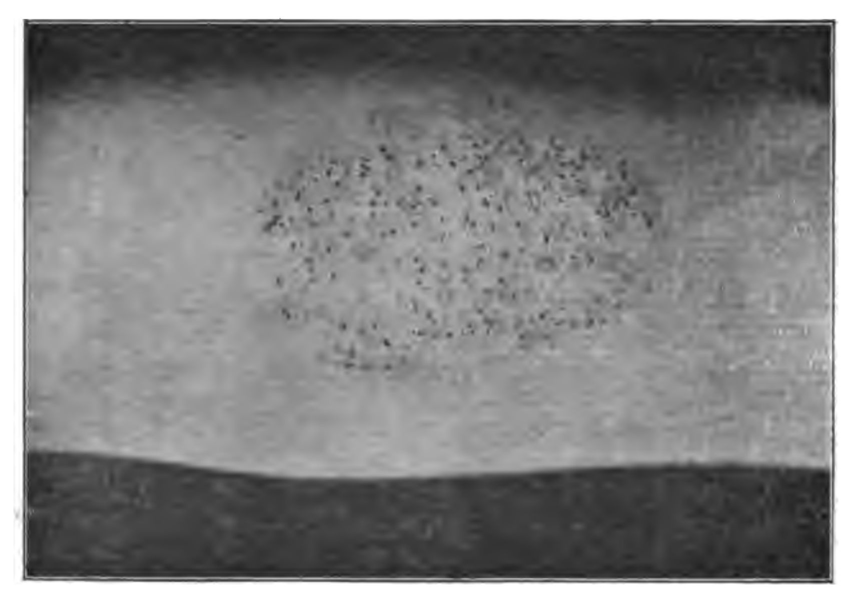


Fig. B.

manganium in die Haut ein. An der Anode zeigt die Haut nach Stromschluss keine offensichtliche Veränderung, während sie an der Kathode eine schwärzliche Punktierung aufweist als Effekt des Eindringens des Permanganium, wie die Photographie des Armes von Herrn Dr. Gonzalez Quisano Sanchez, nach Einführung des Permangans an einer Kaliumpermanganatkathode zeigt. Wenn man als Elektrode eine Goldchloridlösung verwendet, so dringt Chlor an der Kathode in die Haut ein und diese zeigt nach dem Hindurchgehen des Stroms keine merkliche

Veränderung, während sie an der Anode als Wirkung des Eintretens von Goldionen eine braune Punktierung erkennen lässt.

Benutzt man Säurelösungen als Elektroden, so dringt das Wasserstoffion ($\overset{+}{H}$) an der Anode durch die Haut und verbindet sich mit den elektronegativen Radikalen der Gewebe ($\overset{-}{R}$) zu Bildungen von Säuren ($\overset{-}{R}\overset{+}{H}$), die dadurch hervorgerufenen kaustischen Wirkungen ergeben genau den Ort und die Ausbreitung der eingedrungenen Hydrogenionen.

Bei Elektroden von Alkalilösungen dringt Hydroxyl an der Kathode ein, verbindet sich mit den Metallen der Gewebe (M) zu den entsprechenden Basen $\overset{-}{OH}\ \overset{+}{M}$ und die von diesen gesetzten Schorfe verraten Ort und Ausbreitung der Hydroxyleinwanderung.

Ebenso können andere Ionen, z. B. das Schwefelion ($\overset{-}{S}$), wie die Wasserstoff- und Hydroxylionen in die Gewebe hinein verfolgt werden.

Die farbigen und die kaustischen Ionen, welche ihren Weg im Gewebe aufzeichnen, lassen erkennen, dass der elektrische Strom nur durch die Drüsen vordringt, die Spuren dieser Ionen geben stets die Umrisse der Drüsentopographie.

Der Widerstand der Colloide und der Gewebe gegen molekulare und Ionenbewegungen.

Wir haben gesehen, dass nach den Versuchen von Hittorf die Ionen im Elektrolyt unter der Wirkung der gleichen Spannungsdifferenz sich mit verschiedener Geschwindigkeit verschieben, und Kohlrauschs Gesetz lehrt, dass die Leitfähigkeit eines Elektrolyts proportional ist der Summe der Geschwindigkeiten seiner Ionen, $C = X\,(u + v)$. Die Geschwindigkeiten der verschiedenen Ionen sind gemessen worden und Tabellen darüber sind in den elektrochemischen Lehrbüchern zu finden. Doch beziehen sich diese Messungen und diese Tabellen nur auf die wässerigen Lösungen. Sind sie auf die lebenden Gewebe anwendbar, in denen die Ionen sich innerhalb viscoser, colloider Quellungen einherbewegen und Membranen und verschiedenartige Gewebe durchsetzen? Nur der Versuch vermag diese Frage zu beantworten.

Nach Graham und Voigtländer erleidet die Diffusionsgeschwindigkeit gelöster Substanzen keine Veränderung, wenn man die Flüssigkeit, in der die Diffussion vor sich geht, mit gallertartigen Substanzen versetzt (Dr. Ernst Cohen, Physikalische Chemie in der Medizin, Seite 116). Unser Experiment hat dagegen gezeigt, dass die Diffusionsgeschwindigkeit im wesentlichen nach der Konzentration und der Beschaffenheit der

Gallertsubstanzen, in der die Diffusion erfolgt, sich richtet. Jedermann wird dies mit Hilfe der folgenden Versuche bestätigt finden:

Bedeutung der Konzentration der Gallertsubstanzen.

Man stelle Gelatinelösungen her, die auf hundert Gramm Lösung 2, 3, 4, 8, 12, 16 und 20 Gramm Gelatine enthalten. Man erhitze, bis die Gelatine eine entsprechende Leichtflüssigkeit bekommt. Man nehme nun sechs dünne Glasplatten und lasse auf einer jeden eine gleichstarke Schicht der Lösungen verfliessen, die Platten werden auf eine bis zwei Stunden weggestellt, bis die Gelatine gut fixiert ist; jede Platte wird dann auf ein Blatt weisses Papier gelegt, auf welchem drei in grader Linie gelegene Punkte von je einem Zentimeter Entfernung angemerkt sind. Die Mitte der Platte fällt auf den mittleren Punkt. Nun appliziert man auf einen der zwei übrigen Punkte einen Tropfen einer 10 prozent. Blutlaugensalz-Kaliumeisencyanürlösung, auf den anderen einen Tropfen einer 10 prozentigen Kupfersulfatlösung, darauf werden sämtliche Platten auf ein Blatt weisses Papier gelegt; die Solutionen diffundieren gleichmässig in der Gelatine; wenn das Blutlaugensalz und das Kupfersulfat sich treffen, bildet sich ein brauner Strich von Kupfereisencyanür, dessen Bildung auf dem weissen Papier leicht zu verfolgen ist. Man ermittelt nun die Zeit, welche vom Beginn der Imbibition der Tropfen bis zur Erscheinung des Niederschlags vergeht: diese Zeit ist umgekehrt proportional der Diffusionsgeschwindigkeit und man kann in dieser Weise die Geschwindigkeit berechnen.

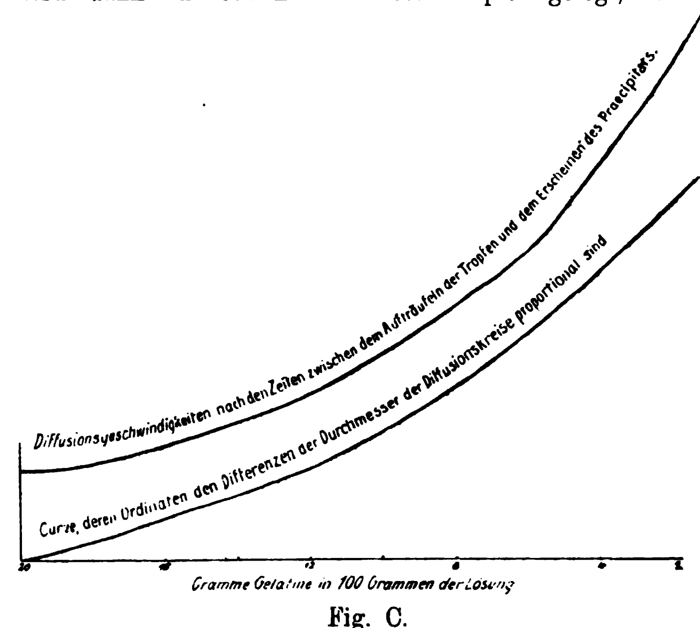


Fig. C.

Die Kurve, welche man erhält, wenn man auf der Abscisse das Verhältnis der Verdünnung der Gallertsubstanz und auf der Ordinate

das der Diffusionsgeschwindigkeit einträgt, zeigt, wie sehr die Durchdringungs-Geschwindigkeit mit der Konzentration der Gelatinelösung wechselt, da in einer 20 prozentigen Gelatine die Lösungen mehr als 6 mal soviel Zeit zur Begegnung bedürfen, als in einer 2 prozentigen.

Beschaffenheit der Lösungen.

Man überzieht wiederum drei dünne Glasplatten mit einer 10 prozentigen Gelatineschicht, welche Spuren von Kaliumeisencyanür enthält, die erste präpariere man mit destilliertem Wasser, die zweite mit einer (1 : 500) schwachen Schwefelsäure-, die dritte mit einer ebensolchen (1 : 500) Kali-



Fig. D.

lösung. Man gebe nun auf jede Platte einen Tropfen einer 10 prozentigen Kupfersulfatlösung, man lässt durchdringen und findet nach 24 Stunden, dass die Diffusionskreise des Kupfereisencyanürs ungleich sind, die Durchdringung ist auf der sauren Platte viel ausgebreiteter, auf der alkalischen viel geringer als auf der Wasserplatte, die Säure hat also die Diffusion des Kupfersulfats beschleunigt, das Alkali sie verzögert.

Ein ähnliches Experiment, bei welchem man eine gleiche Lösung von Kaliumeisencyanür auf einer neutralen sauren und alkalischen Platte mit Spuren von Kupfersulfat diffundieren lässt, zeigt, dass umgekehrt wie beim Kupfersulfat, die Diffusion des Ferrocyankaliums durch Alkalien beschleunigt, durch Säuren verlangsamt wird.

Die Resultate dieser Versuche wurden durch andere Methoden kontrolliert (Comptes rendues, Académie des Sciences de Paris, 17. Juni 1901 Congrès de l'Association Française pour l'Avancement des Sciences, Ajaccio 1901).

Es ergibt sich aus diesen Versuchen, dass die Gallerte nach Beschaffenheit und Konzentration den von gleichen Kräften angetriebenen Molekularbewegungen verschiedenfache Widerstände entgegensetzen. Es ist also zu erwarten, dass diese selben Massen den Ionenbewegungen verschiedenartige Widerstände entgegensetzen werden.

Die Widerstände der Colloide gegen die Ionenbewegungen.

Wenn die Gallertsubstanzen den Ionenbewegungen einen um so grösseren Widerstand entgegensetzen, je konzentrierter sie sind, so wird, da der elektrische Strom in den Elektrolyten ein Korrelat der Ionenbewegung ist, der elektrische Widerstand der Gallerte mit der Konzentration. wachsen.

Wir haben die elektrischen Widerstände von Gallert-Säulen gleicher Form und Grösse, die mit 1 prozentiger Kochsalzlösung präpariert, aber von verschiedenartiger Gallert-Konzentration waren, gemessen.

Die Säule von 2 Gramm Gelatine und 100 Gramm Wasser hatte einen Widerstand von 1200 Ohm, dieser Widerstand schwankte wenig bis zu einer Konzentration von 30 Gramm Gelatine und 100 Gramm Wasser, was wohl den geringen Dimensionen der Ionen zugeschrieben werden darf; der Widerstand der 40 prozentigen Lösungen dagegen stieg auf 2500 Ohm, der 50 prozentigen auf 3400 Ohm.

Also setzen die Gelatinelösungen den Molekular- und Ionenbewegungen um so grösseren Widerstand entgegen, je konzentrierter sie sind.

Übrigens führt die Ansicht, welche behauptet, dass die Gegenwart der Gelatine die Durchdringungsfähigkeit nicht ändert, notgedrungen zu der absurden Folgerung, dass die Diffusion und die elektrische Leitungsfähigkeit in der trockenen Gelatine und im reinen Wasser gleich sein müssen. Nach allen Versuchen wird man vermuten können, dass die Ionengeschwindigkeiten im lebenden Gewebe und im puren Wasser sich nicht gleich sind, dass die Unterschiede zwischen den einzelnen Ionen hierin wechseln, dass die Geschwindigkeiten in den verschiedenen Geweben verschieden sein können.

Leitungskurven der lebenden Gewebe.

Der Körperwiderstand ist im grossen und ganzen der Hautwiderstand, er bedeutet das Hindernis, welches dieser dem Durchzuge der Ionen ent-

gegenstellt, er muss von der Beschaffenheit der Ionen, ihrer Grösse usw., der des Zellenplasmas, seiner chemischen Zusammensetzung usw. abhängen. Wir müssen also die Bedeutung dieser verschiedenartigen Einflüsse auf die elektrische Widerstandsfähigkeit des menschlichen Körpers R ins Auge fassen, oder besser die Leitungsfähigkeit C, den reziproken Wert des Widerstandes $\left(C = \frac{1}{R}\right)$.

Der Widerstand an den Elektroden ist ihrer Oberfläche umgekehrt proportional. Berücksichtigt man nur die Widerstände r und R an den beiden Elektroden, so ist der Ausdruck für die Leitungsfähigkeit $C = \frac{I}{r + R}$, worin r den kleinen Widerstand der grossen Elektrode, R den grossen Widerstand der kleinen Elektrode bedeutet. Ist das Verhältnis der Elektrodendimensionen derart, dass r im Vergleich zu R vernachlässigt werden kann, so kann die Leitungsfähigkeit als ausschliesslich von dem grossen Widerstande der kleinen Elektrode abhängig angenommen werden.

Zur Herstellung unserer Leitungskurven verwenden wir eine indifferente grosse Elektrode mit nur geringem Einfluss auf die Leitfähigkeit und die Stromstärke, und zum Studium der Ionenwirkung eine kleine Elektrode, deren Rolle bei der Leitfähigkeit und der Stromstärke vorwiegend wird. Die indifferente Elektrode hat wenigstens 250 Quadratzentimeter, während die aktive Elektrode nur 10 oder 12 qcm misst.

Wenn man den Stromkreis derart gestaltet, dass der äussere Widerstand im Verhältnis zum Körperwiderstand vernachlässigt werden kann, den besonders der Hautwiderstand unter der kleinen Elektrode ausmacht, so sind bei genügender Konstanz der elektromotorischen Kraft die Intensitätsschwankungen parallel den Leitungsschwankungen an der kleinen Elektrode. Bei Akkumulatoren von grosser Fläche, also grosser Kapazität, ist der äussere Widerstand im Vergleich zu dem Körperwiderstande verschwindend und infolge der angewendeten geringen Stromstärke ist die elektromotorische Kraft absolut konstant.

Der Stromkreis, dessen wir uns zur Zeichnung der Leitungskurven bedienen, besteht aus drei Akkumulatoren, einem sehr empfindlichen aperiodischen Galvanometer, welcher $^1/_4$ M.-A. genau zeigt, endlich einem Stromwender, mit dem man die Stromrichtung im Körper momentan wechseln kann.

Die grosse indifferente Elektrode wird mit einprozentiger Kochsalzlösung, die kleine aus dichter hydrophiler Gaze mit der zur Untersuchung bestimmten Lösung durchfeuchtet und an die Stelle der Haut gebracht, deren Leitungsfähigkeit für die Ionen man bestimmen will.

Im Augenblicke der Stromschliessung löst man den Sekundenzeiger eines Chronometers und man bestimmt die Stromstärken am Galvanometer alle fünfzehn Sekunden, wenn ihre Schwankungen geschwind, alle Minuten, wenn sie langsam sind. Wenn die Stromstärke konstant geworden ist, kehrt man den Strom um, wodurch das an der kleinen Elektrode wandernde Ion gewechselt wird und notiert wiederum die Stromstärke. So erhält man eine Tabelle der Stromstärken zu den verschiedenen Zeiten. Man trägt nun die Zeiten auf der Abszisse, die Stromstärken auf der Ordinate ein, verbindet die Gipfel der Ordinaten und erhält so die Kurve der Stromstärken, welche jener der Hautleitung an der kleinen Elektrode parallel ist; für die verwendete elektromotorische Kraft und die Ionen, die in der Elektrode enthalten sind, hat man dann die Beziehung: $I = E \times \frac{1}{R} = EC$.

(Siehe Fig. 1, 2, 3, 4.)

Ich gebe hier eine Anzahl solcher Kurven, teils eigene, teils von Herrn Dr. Gonzalez Quijano ermittelte.

Die Kurven sind geeignet, Ärzten und Biologen vieles verständlich zu machen und es ist zweckmässig, genauer auf ihre Deutung einzugehen.

Zum Verständnis der verschiedenen Teile der Kurven muss man sich erinnern, dass die Leitung der Elektrolyte sich im wesentlichen richtet

1. nach der Beschaffenheit der Ionen, die den Elektrolyten konstituieren,

2. nach ihrer Zahl, d. h. der Konzentration und der Dissoziation der elektrolytischen Lösung,

3. nach ihrer Geschwindigkeit, also, wie wir gesehen haben, nach dem Widerstande, den das Protoplasma den Ionenbewegungen entgegensetzt.

Die Kurve des salzsauren Chinins also hebt bei der Anode als aktiver Elektrode an, die Körperanionen verlassen die Haut und dringen in die Elektrode, ihrerseits ersetzt durch die Anionen tieferer Schichten, dieser Prozess verändert nur wenig den Zustand der Haut. Das Chininion dringt aus der Elektrode in die Haut, deren Kationen es ersetzt, seine Anwesenheit verändert hier das Zellenprotoplasma.

Alle diese Vorgänge sind geeignet, die Leitfähigkeit der Haut und die Stromintensität, welche bei konstanter elektromotorischer Kraft ein bestimmtes Verhältnis besitzt, zu stören, die Kurve zeigt wirklich, dass der Zuwachs an Stromstärke anfangs bedeutend ist, dann immer langsamer wird, die Kurve der Stromstärke schliesslich dazu neigt, der Abszissenaxe parallel zu werden. Die Umkehrung des Stroms verwandelt sechs Minuten später die Anode in die Kathode, das Chlorion

tritt jetzt in die Haut, man erblickt einen Intensitätszuwachs, der weit grösser ist, als zur Zeit der Einführung des alkalischen Radikals des Chininsalzes, dieses Ansteigen verlangsamt sich und die Kurve wird wieder der Abszissen-Achse parallel.

Die Wendung, welche wiederum Chinin in den Körper einführt, gibt von neuem Anlass zu einem schroffen Gipfel, doch fällt die Intensität alsbald schnell unter die vorherige. Durch mehrfache Unterbrechungen

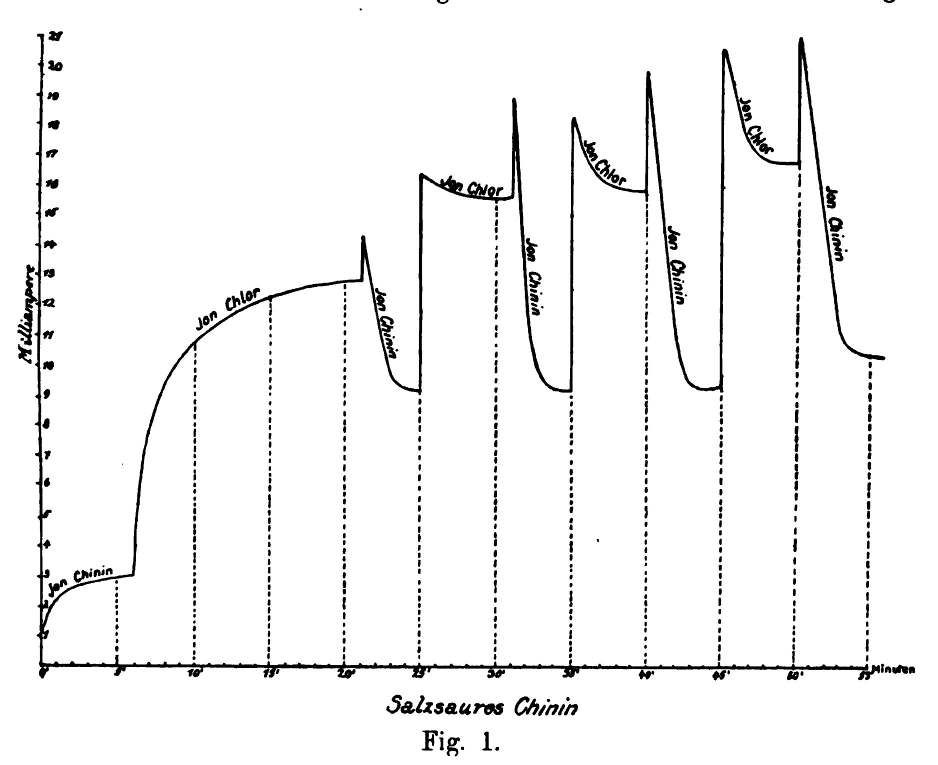


Fig. 1.

des Stroms wird die Kurve immer mehr spezifisch typisch und nimmt einen ausgesprochen gleichmässigen Charakter an. Die Intensitätsschwankungen können nur auf zwei Ursachen zurückgeführt werden: 1. auf die Schwankungen des Körperwiderstandes, 2. auf die Polarisationserscheinungen. Die schroffen und flüchtigen Schwankungen nach den Stromwendungen sind die Folge der Polarisation, die die Kurve also näher kennen lehrt. Die andern Schwankungen kommen vom Wechsel des Körperwiderstandes, vom Ersatz des Elektrodenions für das Haution, sei es unmittelbar, oder wie des öfteren infolge der sekundären Wirkung auf die organischen Elektrolyte oder Colloide; wenn der Strom länger

Kalichlorid.

Milliampère

Ion K Ion Cl Ion K Ion Cl Ion K Ion Cl Ion K Ion Cl

Kochsalz.

Milliampère

Ion Na Ion Cl Ion Na Ion Cl Ion Na Ion Cl Ion Na Ion Cl

Lithium hydrochloricum.

Milliampère

Ion Cl Ion Li Ion Cl Ion Li Ion Cl Ion Li Ion Cl Ion Li

Ammoniumchlorid.

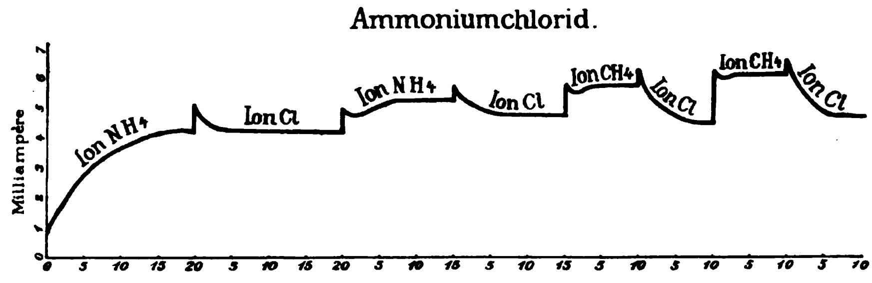
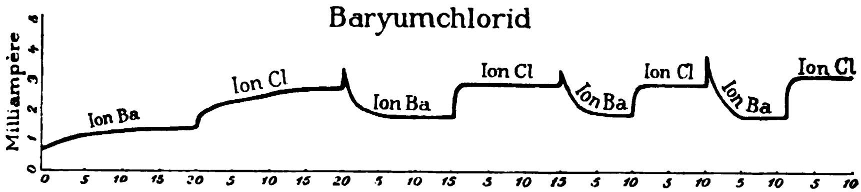
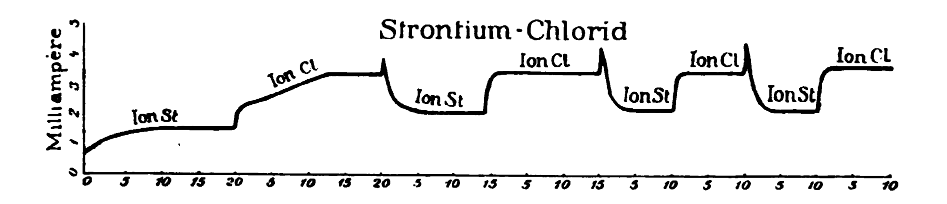


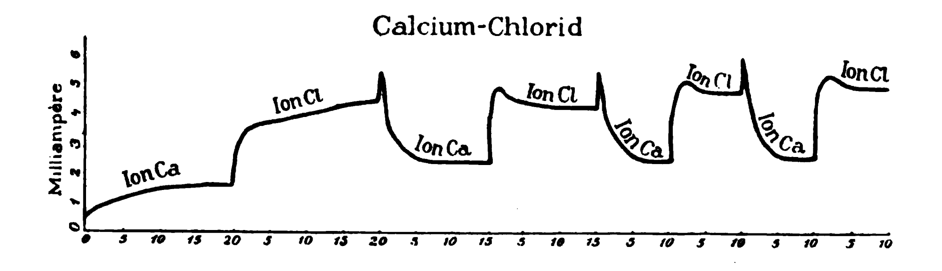
Fig. 2.

andauert, so wird die Stromstärke infolge der Körperleitung konstant, die Ioneneinfuhr ändert nichts mehr an der Hautleitung, ein Umstand, der die Annahme nahe legt, dass die Haut die neuen Ionen im Verhältnis ihrer Zuwanderung wegschafft. Die Hautleitung in dieser Phase wird proportional der Ionengeschwindigkeit, und die den horizontalen Kurvenabschnitten entsprechenden Stromstärken stehen für beide Ionen in demselben Verhältnis als die Geschwindigkeiten dieser Ionen.

Seien J^{Cl} und J^{Ch} die den horizontalen Abschnitten der Kurven für die Chlor- und Chininionen entsprechenden Intensitäten und v^{Cl} v^{Ch} die







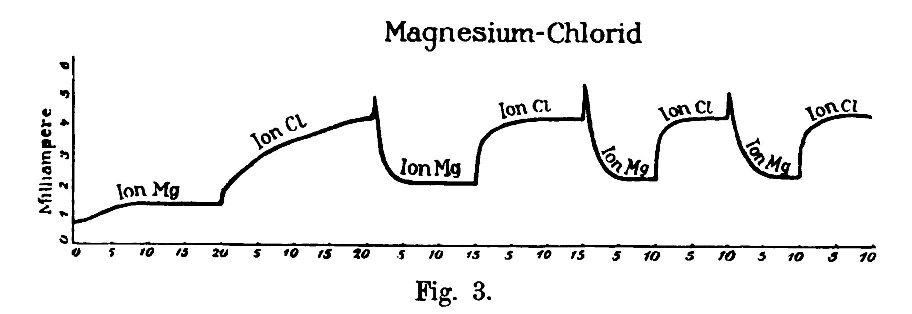


Fig. 3.

Geschwindigkeiten der in den Geweben zirkulierenden Ionen, so erhält man $\frac{v^{Cl}}{v^{Ch}} = \frac{J^{Cl}}{J^{Ch}}$. So kann man also die jeweiligen Ionengeschwindigkeiten berechnen.

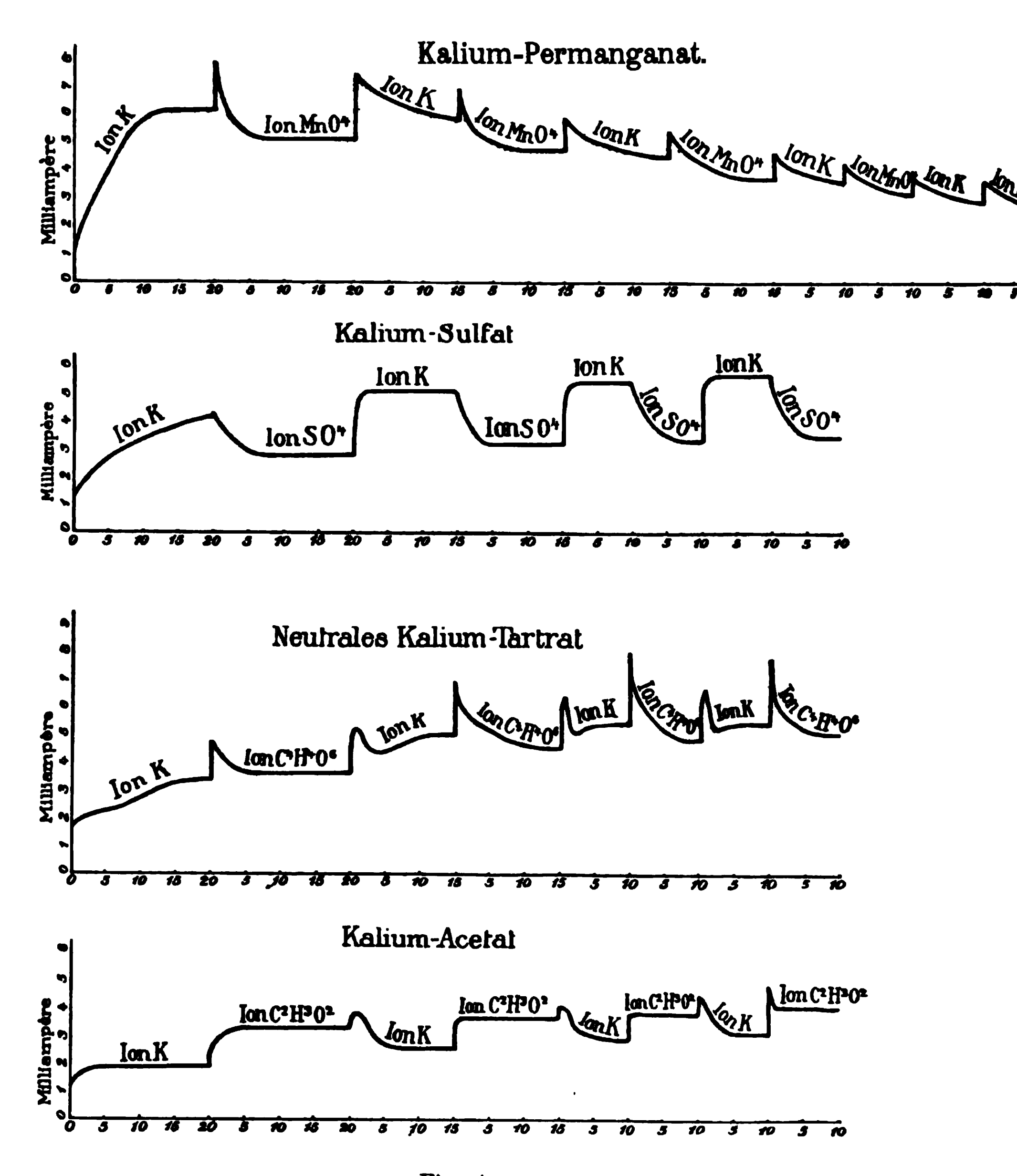


Fig. 4.

Die Chlorkaliumkurve zeigt, dass bei diesem Salze die Stromstärke nicht wechselt, wenn man den Strom wendet, die Gewebsleitung ist für das Chlor wie für das Kalium deutlich die gleiche, das nämliche Resultat, welches Kohlrausch bei der Untersuchung der Chlor- und der Kaliumionen in Wasserlösung erhielt. Hieraus ergibt sich, dass bei Verwendung einer Lösung von Chlorkalium zur Imprägnation der indifferenten Elektrode, die Stromwendungen an dieser nicht die Stromstärke beeinflussen; so verwende ich denn bei allen Versuchen für die indifferente Elektrode eine Lösung von Chlorkalium.

Die Leitungskurven der Gewebe für die Metallionen der gleichen Gruppe in Verbindung mit demselben Anion zeigen unter einander eine deutliche Ähnlichkeit, wie man bei den Alkalichloriden und Erdalkalichloriden zu sehen Gelegenheit hat.

So weit aus den Untersuchungen zu schliessen ist, zeigen die Leitungskurven viele Besonderheiten, die Licht auf die Stromwirkungen an den Elektroden werfen.

Physiologische Wirkungen der auf elektrolytischem Wege eingedrungenen Ionen.

Der an einer Elektrode durch die gleiche Elektrizitätsmenge in derselben Zeit hervorgerufene Effekt ändert sich im wesentlichen nach der Beschaffenheit der eingeführten Ionen. Es ist von grossem praktischen Interesse, die Wirkung aller Ionen zu kennen. Diese Untersuchungen haben kaum begonnen. Man muss dabei die allgemeinen Ionenwirkungen von den lokalen unterscheiden.

Die allgemeinen Ionenwirkungen können durchaus und mit Sicherheit für die praktische Medizin nutzbar gemacht werden. Es ist völlig irrtümlich, sie als schwach und geringfügig zu betrachten. Wir haben gesehen, wie leicht man ein Kaninchen durch Ioneneinwanderung von Strychnin und Cyankali töten kann. Ebenso leicht ist es, durch die Haut auf elektrischem Wege tötliche Adrenalin-Dosen oder irgend andere toxische Ionen zu treiben. Ebenso leicht ist es auch beim Menschen, mit dem Strome durch die Haut Ionen in toxischen, also auch in therapeutischen Dosen einzuführen. Es wäre gewiss nicht schwieriger, einen Menschen durch elektrolytische Einwanderung eines Giftes durch die Haut zu töten, als ein Kaninchen, wir selbst haben an uns mehrere Male sehr leicht die toxische Wirkung des Morphiums hervorgerufen. Dr. Bouchet hat an sich Intoxikationen, Schwindel, Schwäche der Beine, Tremor durch elektrolytische Einverleibung von Adrenalinionen erzeugt. Die Methode der elektrolytischen Aufnahme von Medikamenten kann

heute mit Nutzen verwendet werden, auch für die Mittel, welche nur in relativ hohen Dosen wirksam sind, wie etwa das Jod; denn mit Hilfe der Elektrizitätsquellen und der grossen mit 8—12 dicken Lagen hydrophiler Gaze armierten und mit der elektrolytischen Lösung getränkten Elektroden, die ein ganzes Glied oder den Rumpf bedecken, ist es leicht, hohe Stromstärken von 100—200 M.-A. anzuwenden, welche mit Geschwindigkeit wirksame Mengen des Medikamentes eindringen lassen. A priori werden die allgemeinen Wirkungen der Ionentherapie nicht die gleichen sein wie diejenigen, welche die Aufnahme per os oder durch die Substanz-Injektion hervorrufen. Die Resorption des Chlorlithiums z. B., welches den Alkalichloriden des Körperhaushalts sich sonst nur hinzugesellt, ist nicht dieselbe wie die elektrolytische Resorption der gleichen Menge Lithium, denn in dieser Zuführung verdrängt letzteres die Alkalimetalle des Körpers. Auch kann die elektrolytische Therapie eine günstige allgemeine Wirkungsweise entfalten durch die mögliche Elimination toxischer oder unbequemer Ionen aus dem Körperhaushalt. Dr. Bordier hat die bemerkenswerte Auswanderung des Harnsäure-Ions durch den elektrischen Strom im Anodenbade nachgewiesen.

Besonders sind es die örtlichen Wirkungen der Ionen, deren Kenntnis interessant ist, doch ist dieses Forschungsgebiet bisher kaum angebrochen. Die Ionentherapie gewährt Hilfen, die keine andere Art der Medikation bietet, sie gestattet jeder Zelle der Gewebe, die meistens für die medikamentösen Substanzen unerreichbar sind, die gesamte Ionenreihe zuzuführen und soviel verschiedene Reaktionen zu erhalten, als es Ionen gibt. Kennt man die Mannigfaltigkeit, die Verschiedenartigkeit aller dieser Wirkungsweisen, welche man durch Ladung der Ion-Zellen ganz in beliebiger Stärke und Tiefe mit allen diesen elektrolytischen Substanzen hervorrufen kann, so ist man höchst erstaunt, die Heilkunde bei ihren oberflächlichen Anwendungsweisen verweilen zu sehen, bei ihren Salben und Pomaden, die nur sehr flüchtig wirken und von denen nur ein verschwindender Bruchteil ins Innere eindringen kann. Freilich können manche lokal wirkenden Medikamente in beträchtlichen Mengen resorbiert werden, aber es sind dies just solche, welche keine oder geringe Wichtigkeit vom Gesichtspunkte der Lokaltherapie aus besitzen, die leicht in den allgemeinen Kreislauf gelangen und die Haut, ohne sie zu verändern, rasch durchsetzen. Haut- und Wundflächen sind aber völlig undurchlässig für alle starken Reagentien, für die kräftigen Antiseptika, für die Koagulatoren des Eiweisses, welche die Elektrolyse leicht bis zur beliebigen Tiefe hineinbringt.

Die Coagulation des Serumalbumins durch die Wärme modifiziert

seine elektrische Leitfähigkeit nur wenig, sodass der Strom die Ionen fast eben so leicht in dieses coagulierte Albumin einführt, wie in das flüssige Serum. — Der folgende Versuch beweist wohl die eben angezogenen Tatsachen: man nimmt ein Kaninchen, rasiert auf jeder Seite eine Fläche zur Elektrodenapplikation, tränkt beide Elektroden mit einer Lösung von doppeltchromsaurem Kali und lässt einen Strom von 2 M.-A. pro qcm vierzig Minuten lang einwirken. Das Tier hat auf beiden Seiten die gleiche Zeit hindurch Kontakt mit der Elektrode von doppeltchromsaurem Kali gehabt, aber an der Anode, wo das Kaliumion eingedrungen ist, beobachtet man keine unmittelbare, annähernd schätzbare Folgeerscheinung, während an der Kathode, wo das Chromradikal eingetreten ist, die Haut rot aussieht und lebhafte periphere Kongestion zeigt, das Chromion ist sehr gleichmässig in alle Hautzellen eingewandert, man sieht die Bildung eines Chromschorfs, der nach ungefähr drei Wochen in grösseren Fetzchen abfällt, unter denen eine gesunde Haut sich vorfindet oder auch ein Narbengewebe, je nach der Tiefe, bis zu welcher diese Ätzung durch Penetration vorgeschritten ist. An einer Anode von sehr verdünnter Säure, sodass keine unmittelbare Wirkung entsteht, erhält man einen Säureschorf durch Eintritt des Hydrogenions. An einer verdünnten Alkalikathode bekommt man Übertritt von Hydroxyl und einen Alkalischorf. Mit in Chlorzinklösung getränkten Elektroden wird die gleiche Wirkung an der Anode auftreten: ist die eingeführte Menge genügend, so erhält man einen dem Chlorzinkschorf entsprechenden Schorf, ist sie zu klein, so bekommt man anderweitige trophische oder antiseptische Wirkungen. So sahen wir, dass nach Einverleibung des Zinkions die Kaninchenhaare an der Anodenstelle viel rascher und reichlicher sprossen, als an der Kathode oder anderen rasierten Körperstellen.

Die experimentelle Untersuchung der lokalen Wirkungen der Ionen ist langwierig und schwierig; die Wirkungen variieren nicht nur für jedes Ion, sondern sie variieren auch erheblich mit der Dosis ein und desselben Ions, bei einer bestimmten Dosis erhalten wir Erregung: Steigerung der Vitalität, wie z. B. Haarwachstum, wie in meinem Versuch mit Zink-Ionen; mit einer stärkeren Dosis ergibt sich Paralyse der Lebenserscheinungen, Absterben der Gewebe. Für jede Dose und für jedes Ion ist das Sichtbarwerden der Wirkungen sehr langsam und erfordert Wochen und selbst Monate ununterbrochener Beobachtung. Die Störungen entwickeln sich sehr langsam, sie haben eine Latenzzeit analog derjenigen der X-Strahlen-Effekte.

In manchen Fällen ist es nicht schwer, die Pathogenese der Ionen-Läsion zu erklären. Es ist sehr schwer, mit Alkali- oder Magnesium-

Ionen deutliche Läsionen hervorzurufen. Die Ionen der alkalischen Erden dagegen erzeugen in genügenden Dosen leicht Gewebstod; ihre sehr charakteristischen Wirkungen sind für die einzelnen Metalle sehr ähnlich, ausser nach der Intensität, die von Kalcium über das Strontium zum Barium zunimmt.

Die von uns benutzten Hunde vertrugen ohne Abwehrbewegung unter einer Anode aus der Lösung eines Erdalkali bei langsamer Steigerung der Stromstärke 14—15 M.-A. pro qcm; wurde diese Stromstärke 30 Minuten lang aufrecht erhalten, so war die Applikationsstelle der Haut sehr weiss, als wenn die Gewebe mit Karbonaten, Sulfaten und Phosphaten des Kalciums vollständig imprägniert gewesen wären. Am Tage darauf ist die Stelle ekchymotisiert, schwärzlich geworden; am dritten Tage zeigt sich eine elastische ödematöse Schwellung, die am vierten Tage dicker aussieht; die wie ein ekchymotisch-schwärzlicher Brandschorf aussehende Stelle bildet die Spitze eines stumpfen Kegels von 8—10 mm Höhe, den ein elastisches Ödem bildet. Dieses Ödem wird härter, der Schorf löst sich am Rand ab, und es zeigt sich eine seröser Ulkus auf induriertem Grunde, ähnlich einem harten Schanker; das Geschwür vertieft sich zu einem konischen Krater, von dessen Grund ein kleines Loch in eine grosse, durch tiefe zirkuläre Loslösung des subkutanen Gewebes entstandene Höhlung führt. Erst vierzehn Tage nach der Ionisierung beginnt die Reparation, und nach einem Monat findet sich erst eine Narbe auf stark induriertem Grunde, ganz der Narbe eines luetischen Ulkus ähnlich. Dieser Vorgang ist für Kalcium, Barium und Strontium derselbe.

Alle Säure-Radikale, die mit Erdalkalien unlösliche Salze geben, wirken in einer bestimmten Dose kaustisch; am schmerzhaftesten von allen Ionen ist aber bei seiner elektrolytischen Einführung das der Kohlensäure, das doch überall im Organismus vorkommt; Versuche damit werden sehr durch die heftige Erregung erschwert, in welche die Tiere einer Einführung geraten.

Sehr eigenartig ist die Wirkung des Schwefelsäure-Ions; unter 10 M.-A. 45 Minuten lang eingeführt, hinterlässt es eine trockene pergamentartige, wie von Firniss glänzende Oberfläche; die Wirkung beschränkt sich also sehr auf die Oberfläche, diese wird schwarz, bleibt aber glänzend und glatt und die nach drei Wochen eintretende Desquamation hinterlässt eine gesunde Haut.

Die Ionen der sogenannten schweren Metalle wirken, wahrscheinlich durch Koagulation des Eiweisses, alle mehr oder weniger kaustisch. Für den Arzt ist das des Zinkes eines der interessantesten. Die Therapie hat die coagulierende Wirkung der Elektrizität bei der Behandlung von

Aneurysmen, Angiomen, Metrorhagieen verwertet, wobei meist eine Platin-Anode verwendet wird.

Es lässt sich leicht ermitteln, dass die Coagulation eine sekundäre Wirkung bei Anwendung einer Platinelektrode ist, sie rührt von den Säureradikalen her, welche dadurch entstehen, dass das Wasser durch die an der Elektrode sich abscheidenden Radikal-Ionen zersetzt wird; nun sind diese Säuren, unter denen die Salzsäure vorwiegt, nicht stark coagulierend; andrerseits hat die Wasserzersetzung den Nachteil, dass sich dabei Blasen von Sauerstoff bilden; der an einer Platinanode sich bildende Gerinnselpfropf ist weich und mürbe.

Stellt man die Elektrolyse des Serums mit Platinnadeln an, so sieht man, dass das schaumige Gerinnsel, um die Anode von reichlichen Sauerstoffblasen getrieben, in kleinen Flocken in die Höhe steigt; verwendet man Zinkstäbe, so tritt keine einzige Gasblase auf, die Zinkanode umgibt sich mit einem zunehmenden Zylinder von geronnenem Eiweiss, bis dieser infolge seines Gewichts abgleitet und auf den Boden des Gefässes sinkt. Das Gerinnsel ist so kompakt, dass es die Form eines festen Hohlzylinders behält. In passender Dosierung ist also das Ion Zink ein unvergleichlich wirksameres Ion als das des Wasserstoffs, den man bei unangreifbaren Anoden wirken sieht.

Ich habe die Ionen vieler anderer Metalle geprüft, besonders die des Strontiums, des Cadmiums, Kupfers, Antimons, Thoriums, Uraniums usw., keines hat so interessante Eigenschaften erkennen lassen, wie das des Zinks.

Die physiologischen Eigenschaften der organischen Ionen sind nicht minder mannigfaltig wie die der anorganischen. Ich habe auf dem letzten Kongresse in Angers die des Adrenalins besprochen.

Durch elektrolytische Einführung der Ionen Kokain und Stovain kann man lokale Anästhesie hervorrufen: Die Einführung vollzieht sich leicht bei einer Stromdichte von 2 M.-A. pro qcm, die Anästhesie ist nach fünf Minuten vollständig. Das Verfahren ist aber wegen der Wirkung der so eingeführten Ionen auf die Haut nicht praktisch; es entsteht zunächst neben der Anästhesie eine Anämie, die unter Kokain länger anhält als unter Stovain, sodann ein schlaffes Ödem; die Einführungsfläche ähnelt einer Urticaria-Quaddel; das Ödem verschwindet dann und hinterlässt eine Gefässlähmung, die sich in braunroter Färbung der Haut äussert und bei Druck verschwindet; diese Lähmung hält länger als vierzehn Tage an, die Oberfläche desquamiert in grossen Fetzen und die Stelle hat eine sehr dauerhafte gelbbraune Färbung. Diese Erscheinungen sind bei Kokain und bei Stovain gleich; sie sind scharf auf die Applikationsstelle beschränkt. Im Gegensatze zu anderen Ionen, z. B. dem Ion Chrom,

zeigen Kokain und Stovain nicht die mindeste Spur von Diffusion um die Einführungsstelle herum.

Ich brauche hier nicht näher auf die interessanten Forschungen über die spezifisch örtliche Ionenwirkungsweise einzugehen, da Frankenhäuser solche Untersuchungen bereits bei einigen Metallen begonnen hat.

Es geben auch die Leitungskurven einige Hinweise auf die lokalen Ionenwirkungen.

So sehen wir, wie das Permanganion, nach Massgabe seines Vordringens, die Gewebsleitung verringert; dies kommt daher, dass infolge seiner sekundären Gewebewirkung ein unlösliches Oxyd entsteht, das die Drüsen verstopft und den Widerstand vermehrt. Hingegen sehen wir, wie durch Einfuhr von Salpetersäureionen die Leitung für das Silberion sehr erleichtert wird.

Manche Ionenwirkungen sind sehr eigenartig, das Lithiumion erzeugt an jeder Drüse einen Purpurfleck, das Morphinion ein papulöses Exanthem, das Adrenalinion bei einer Stromdichte unter 2 M.-A. pro qcm starke Anämie an der Elektrode und weiter stromab, die Venenzüge erscheinen als weisse Stränge, die stark mit der Rosafärbung der Haut kontrastieren. Adrenalininvasion bei grösserer Stromdichte gibt Kongestion.

Elektrochemische Analyse der Gewebe am lebenden Menschen.

Wenn man wiederholt und unter denselben Bedingungen die Teilungskurven derselben Substanz an denselben Individuum untersucht, so erhält man identische Linien. Nach jedesmaliger Stromwendung verhält sich jede Kurve in Bezug auf jedes Ion mit bemerkenswerter Gesetzmässigkeit sich selbst treu. Die Gestalt der Leitungskurven des Körpers für jede Substanz ist so konstant, die Unterschiede zwischen den Kurven der verschiedenen Substanzen derartig, dass jede Kurve für den Stoff charakteristisch ist, dem sie angehört. Zieht man unter sehr gleichen Umständen die Leitungskurve der Körper verschiedener Objekte für dieselbe Substanz, so erhält man Figuren, die die bekannten für die betreffende Substanz charakteristischen Merkmale zeigen, aber dabei zahlreiche Unterschiede, je nach dem Versuchsobjekt, erkennen lassen. Dies zeigt eine Kurvengruppe von Dr. Gonzalez.*) Die vier Kurven jeder Gruppe gelten für die gleiche Substanz, aber eine jede Kurve ist unter sonst identischen Versuchsbedingungen an einem anderen Subjekt aufgenommen. Die Linien zeigen die bestimmten Merkmale der betreffenden chemischen Verbindung, aber unter einander wieder zahlreiche Unterschiede, sie können nicht verwechselt werden, sind nicht gleich hoch, nicht vollständig

*) Siehe dessen Doktor-Dissertation.

parallel. Die erste Gruppe bezieht sich auf eine Kalilösung, die zweite auf Lithium-Chlorid.

Der Körperwiderstand nach der Einführung des Hydroxylions ist:

705 Ohm für die Kurve A
769 „ „ „ „ B
885 „ „ „ „ C
845 „ „ „ „ D.

Die deutlichsten Unterschiede kann man beobachten im Verhalten der jedesmaligen Körperleitung nach Einführung des Hydroxylions zur Leitung nach Einführung des Kaliumions, dieses Verhältnis ist $\frac{C^{OH}}{C^{K}}$ oder

1,097 für die Kurve A
0,921 „ „ „ B
0,930 „ „ „ C
0,923 „ „ „ D.

Zweite Gruppe der vier Kurven der Leitungsfähigkeit des Körpers vier verschiedener Versuchsobjekte für Chlorlithium. Die Leitung des Körpers nach Aufnahme des Lithiums ist:

739 Ohm für die Kurve B
723 „ „ „ „ C
938 „ „ „ „ D
936 „ „ „ „ E

Das Verhältnis der Körperleitungsfähigkeit nach Aufnahme des Lithiums zu jenen nach Chloraufnahme ist:

1,19 für die Kurve B
1,16 „ „ „ C
1,14 „ „ „ D
1,22 „ „ „ E

Man ersieht, dass trotz der Differenzen der Leitungsfähigkeit das Verhältnis $\frac{\text{Leitfähigkeit p. L. l.}}{\text{Leitfähigkeit p. C. l.}}$ eine erhebliche Konstanz besitzt.

Wir besitzen also in den Leitungskurven des Körpers für die verschiedenen Ionen äusserst feine Reaktionsdokumente aller chemischen Ionen in den lebenden tierischen Geweben. Solche Aufzeichnungen sind geeignet, viele individuelle Differenzen aufzudecken, deren Bedeutung

nur nach Vergleichung sehr zahlreicher Kurven abgeschätzt werden kann. Die elektrolytische Kurve unter identischen Bedingungen und die Zusammenstellung der Leitungskurven verschiedener Beobachtungsobjekte bildet demnach faktisch eine Methode der elektrochemischen Analyse der Gewebe des lebenden Menschen.

Der elektrische Widerstand des menschlichen Körpers.

Bis heute wird angenommen, dass der Körperwiderstand hauptsächlich von dem Grade der Durchtränkung und der Durchblutung der Haut abhängig ist; diese Ansicht ist eine Theorie. Die Erfahrung widerlegt sie durchaus, wie ich in vielen Aufsätzen seit vier Jahren nachgewiesen habe.

Man richte einen Stromkreis mit geringer und recht konstanter elektromotorischer Kraft her, worin die Elektrizitätsquelle einen im Vergleich zum Körperwiderstande verschwindenden inneren Widerstand besitzt: Akkumulatoren von grosser Kapazität, städtisches Lichtleitungsnetz oder eine ähnliche Stromquelle genügen vollständig dieser Forderung. Man setzt Elektroden auf die Haut, die gut mit der leitenden Flüssigkeit durchtränkt sind, schliesst den Stromkreis von fünf zu fünf Minuten für solange als notwendig ist, um die Stromstärke abzulesen und man ermittelt, dass, wie auch die Zeit des Elektrodenkontakts auf der Haut ist, die Stromstärke, also der Körperwiderstand beim Durchtreten des Stromes nicht sonderlich schwankt, was beweist, dass die Durchtränkung der Haut durch die Elektrodenflüssigkeit ohne merkliche Beeinflussung dieses Widerstandes bleibt.

Zur Abschätzung des Einflusses der vasomotorischen Erscheinungen auf den Widerstand schliessen wir den Stromkreis, während wir die Hand genau bis zu derselben Tiefe in ein 1proz. Kochsalzbad von 0° und sogleich darauf in ein ebensolches weiteres Bad von 48° Wärme tauchen. Man muss darauf achten, dass, wenn der Versuch angestellt wird, der Strom jedesmal beide Bäder nacheinander durchsetzt, da der Temperaturunterschied beider einen sehr bemerkenswerten Leitungsunterschied herstellt; unter diesen Umständen übte das rasch hinter einander vorgenommene Eintauchen der Hand in das warme und kalte Wasser und umgekehrt keinen merklichen Einfluss auf die Stromstärke und demgemäss auf den Widerstand des Stromkreises aus.

Nimmt man als grosse Kathode eine Lösung von Chlorkalium und als kleine Anode eine salzsaure Adrenalinlösung, so steckt der Wider-

stand hauptsächlich in der kleinen Elektrode und seine Schwankungen an diesem Punkte müssten den grössten Einfluss auf die Stromstärke äussern. Infolge Eintritts des Stromes dringt Adrenalin an der Anode in die Haut, welche tief anämisch und blass wird, nach der alten Ansicht müsste der Widerstand jetzt wachsen und die Stromstärke viel geringer werden, aber grade das Gegenteil findet statt. Mit dem Adrenalinion fiel, je mehr die Haut anämisch wurde, als ihr Wärmeausstrahlungsvermögen um die Hälfte reduziert war, der elektrische Widerstand von 6000 auf 1066 Ohm. Wir könnten sehr leicht diese Versuche weiter ausdehnen. Man versteht nicht, wie allen Tatsachen widersprechende Ansichten sich in der Wissenschaft erhalten können, nur unter der Herrschaft von Tradition und Gewohnheit.

Der elektrische Widerstand der Haut richtet sich im wesentlichen nach der Zahl und Beschaffenheit der Ionen, die sie beherbergt, d. h. nach ihrer chemischen Zusammensetzung, was unmittelbar durch einen einfachen Blick auf unsere Kurven hier einleuchtet. Auf Einführung des Chlorions eines Chlorids haben wir gesehen, wie der elektrische Widerstand des Körpers in 15 Minuten von 8000 auf 1000 Ohm sank, d. h. auf den achten Teil seines ursprünglichen Wertes zurückging. Der Ersatz des Chlorions durch das Calciumion bewirkte in weniger als 5 Minuten das Anwachsen des Widerstandes von 1000 Ohm auf 4000 Ohm, d. h. vervierfachte ihn. Es handelt sich hier nicht um zufällige unerklärliche, sondern um gesetzmässige Wirkungen, die leicht verständlich und nach Belieben hervorgerufen sind und die stets dieselben Folgen haben.

Der elektrische Widerstand in Abhängigkeit von der chemischen Beschaffenheit der Haut variiert im wesentlichen mit der verwendeten elektromotorischen Kraft, d. h. mit der Schnelligkeit der Ioneneinwanderung, wie es sehr deutlich unsere Kurven auf Fig. 5 zeigen.

Wir sehen den Hautwiderstand für das Natriumion von 6000 Ohm auf 941 Ohm sinken, wenn die elektromotorische Kraft von 2 auf 8 Volt steigt. Für das Chlorion fällt der Hautwiderstand, wenn die elektromotorische Kraft von 2 auf 8 Volt steigt, von 6000 Ohm auf 1692 Ohm, für das Phosphorion beim Anwachsen der elektromotorischen Kraft von 2 Volt auf 12 Volt von 10000 Ohm auf 1200 Ohm, variiert also im Verhältnis von 8 zu 1. Diese Variationen sind übrigens sehr verschieden bei den einzelnen Ionen. Unter diesen Umständen sind alle Widerstandsmessungen ohne Angabe von Spannungsdifferenz zwischen den Elektroden und der Art des eingeführten Ions und der Elektrodendurchmesser, also

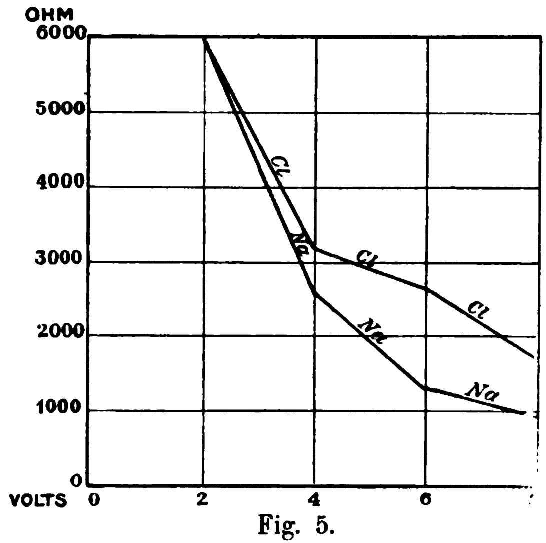


Fig. 5.

alle bis dato gemachten Widerstandsmessungen zu kassieren, sie können gar keine Bedeutung, keinen Wert beanspruchen.

Um den Widerstand für die Diagnose verwenden zu können, muss man alle Ursachen, von denen er abhängt, in Betracht ziehen und dies ermöglicht die Methode unserer Leitungskurven. Man nimmt wiederum eine Stromquelle mit recht konstanter elektromotorischer Kraft und verschwindendem inneren Widerstande, man notiert nach Schluss des Stromkreises von Minute zu Minute die Stromstärke, man trägt die Zeiten auf der Abszisse, die Stromstärken auf der Ordinate ein und zieht die Kurve der Leitung C für die verschiedenen Versuchszeiten bei der jeweiligen elektromotorischen Kraft $C = \frac{1}{R} = \frac{I}{E}$. Da die elektromotorische Kraft konstant ist, so ist C proportional I.

Gibt man Spannung, Art der Ionen, Dimensionen und Art der Applikation der Elektroden an, so hat man die Bedingungen festgelegt, unter denen man konstante, regelmässige Ergebnisse für die Diagnose erhält, die die elektrochemische Analyse der Gewebe des lebenden Menschen aufzustellen und wertvolle Einzelheiten über die verschiedenen chemischen Konstitutionen, die Disposition und Zustände der verschiedenen Individuen beizubringen geeignet sind.

Die Ionen-Geschwindigkeit im lebenden Gewebe.

Für die gleiche elektromotorische Kraft ist die Intensität des elektrischen Stroms im Elektrolyten oder die Menge der abfliessenden Elektrizität in der Zeiteinheit, der Zahl der Ionen und ihrer Geschwindigkeit proportional.

Hittorf und Kohlrausch haben gezeigt, dass in wässeriger Lösung die Geschwindigkeit von der Art der Ionen abhing und man findet in den elektrochemischen Lehrbüchern Tabellen der relativen und absoluten Geschwindigkeit der Ionen in wässerigen Lösungen. Unsere Versuche

über die Leitung der Gelatinelösungen von verschiedenem Konzentrationsgrade zeigen, dass der elektrische Widerstand und die Ionengeschwindigkeit sich nach der Dichte der Gallertmassen richten.

Unsere Diffusions-Versuche in neutraler, saurer und alkalischer Gelatine lassen mutmassen, dass je nach der chemischen Konstitution der gewebsbildenden Colloide, der Bewegungs-Widerstand mit der elektrischen Leitung, folglich die Geschwindigkeit der Ionen für die verschiedenen Ionen variieren muss. Daraus folgt, dass die Ionen nicht dieselbe relative Geschwindigkeit in den lebenden Geweben wie im Wasser haben dürften.

Die Leitungskurven lassen die jeweiligen Geschwindigkeiten der verschiedenen Ionen im lebenden Gewebe mit einander vergleichen. Wenn die Leitung konstant geworden ist, so ist die Stromstärke proportional der Geschwindigkeit der Ionen; das Ion, welches den Körper verlässt, muss immer dasselbe bleiben, so muss das Verhältnis der erhaltenen Stromstärken bei derselben elektromotorischen Kraft für die verschiedenen Ionen das Verhältnis der Geschwindigkeit jedes Ions bilden, das in die Gewebe eindringt.

Da Chlor- und Kaliumionen dieselbe Geschwindigkeit im lebenden menschlichen Gewebe besitzen, so vergleicht man die Geschwindigkeit der Kationen mit jener des Chlors durch Zeichnung der Kurven der an den Chloriden bei 6 Volt gegebenen Intensitäten, und durch Darstellung des Verhältnisses der durch Einführung des basischen Ions erhaltenen Intensität mit jener, die von der Einführung des Chlorions stammt. In analoger Weise vergleicht man die Geschwindigkeiten der Anionen mit der des Kaliums.

Die so erhaltenen Geschwindigkeitsverhältnisse unterscheiden sich sehr von den Geschwindigkeitsverhältnissen derselben Ionen im Wasser, was unsere frühere Behauptung rücksichtlich der Existenz eines für jedes Ion besonders geltenden Widerstandes in den colloiden Lösungen bestätigt.

Das Geschwindigkeitsverhältnis des Hydroxylions zum Chlorion ist in unendlich dünnen Wasserlösungen $= \frac{325}{70} = 4{,}62$, während in unsern Geweben dieses Verhältnis $= 0{,}88$ ist, also 5.25 mal schwächer. Hingegen ist das Verhältnis der Lithiumgeschwindigkeit zu der des Chlors, welches im Wasser $= \frac{39{,}8}{70{,}2} = 0{,}56$ ist, in unsern Geweben 1,28, also 2,28 mal so gross.

Die Geschwindigkeit des Hydroxyls im Wasser ist 2,28 mal grösser als die des Chlorions, während seine Geschwindigkeit in unseren Geweben 1,6, d. h. beinahe 2,3 mal kleiner ist.

Es ist zu bemerken, dass die Ionen, deren Geschwindigkeiten im Organismus sehr gering sind, wie das Wasserstoff- und Hydroxylion, diejenigen sind, welche sekundäre Gewebs-Wirkungen, Ätzung der Drüsenkanäle, nach ihrem Eindringen hervorbringen.

Bei der gleichen elektromotorischen Kraft ist die jeweilige Ionengeschwindigkeit bei den verschiedenen Subjekten nicht dieselbe und es wird nötig werden, die physiologischen Umstände, die diese Unterschiede bedingen, zu untersuchen.

Die Dosierung der in die lebenden Gewebe eingeführten Ionen.

Die Beschaffenheit der mit einer gegebenen Elektrizitätsmenge eingeführten Ionen richtet sich nach ihrer jeweiligen Geschwindigkeit, wie folgende Formeln zeigen:

Anode — Körper — Kathode

$$+\qquad \frac{\overset{+}{K}}{J}\;\;\frac{\overset{+}{K}}{J}\qquad \frac{\overset{+}{Na}}{Cl}\;\;\frac{\overset{+}{Na}}{Cl}\;\;\frac{\overset{+}{Na}}{Cl}\qquad \frac{\overset{+}{K}}{J}\;\;\frac{\overset{+}{K}}{J}\qquad -$$

vor Durchtritt des Stroms;

$$J\;\;J\;\;Cl\qquad \frac{\overset{+}{K}}{Cl}\;\;\frac{\overset{+}{K}}{Cl}\;\;\frac{\overset{+}{Na}}{J}\qquad \frac{\overset{+}{Na}}{J}\;\;Na\;\;K\;\;K$$

nach Durchtritt des Stroms.

Wird der Körper durch Chlornatrium-, die Elektroden durch Jodkaliummoleküle dargestellt, so kann man sich vorstellen, dass die Kationen eine doppelt so grosse Geschwindigkeit als die Anionen besitzen, man sieht, dass nach Passieren des Stroms, wenn drei Äquivalente an jeder Elektrode abgeschieden sind, also für dieselbe Quantität fortgeführter Elektrizität, zwei Kationenäquivalente an der Anode, ein Anionenäquivalent an der Kathode in den Körper eingetreten sind.

Allgemein gesprochen: wenn U die Geschwindigkeit eines Ions, V die eines anderen ist, so ist der Anteil beider an der Elektrizitätsfortbewegung $\frac{U}{V+U}$ für das Ion mit der Geschwindigkeit U und $\frac{V}{V+U}$ für das Ion mit der Geschwindigkeit V. Das Gewicht jedes dieser beiden durch eine bestimmte Elektrizitätsmenge Q eingeführten Ionen erhält man also durch das Produkt $\frac{U}{V+U}$ Qe, oder $\frac{V}{V+U}$ Qe, d. h. durch das Produkt des den Anteil des Ion an der Fortleitung der Elektrizität dar-

stellenden Faktors in die Elektrizitätsmenge Q und das elektrochemisch Äquivalent e des entsprechenden Ion; die Formel zeigt, dass, wenn die Geschwindigkeiten gleich sind, die eingeführte Menge beider Ionen gleich $^1/_2$ Qe ist.

Änderung der Nervenerregbarkeit durch die Ionen.

Wenn man durch die Haut auf elektrolytischem Wege Ionen in einen motorischen Nerv einführt, so ändert man seine Erregbarkeit.

Um dies nachzuweisen, bringt man eine Batterie mit Stromwähler, eine Induktionsspirale und einen Rheostaten in denselben Stromkreis; die Spule und die Batterie werden je nach dem vorzunehmenden Versuch bald hintereinander (durch Verbindung ihrer entgegengesetzten Pole), bald nebeneinander (durch Verbindung der gleichnamigen Pole) geschaltet, eine grosse indifferente Elektrode wird auf das Epigastrium, eine aktive aus einer dicken Schicht hydrophiler Gaze bestehende mit der zu untersuchenden Substanz imprägnierten auf den N. ulnaris hinter der Ellbogenrinne gelegt, mittels eines runden Kartonstücks zur Verteilung des Drucks auf eine weite Fläche wird diese Elektrode stark auf den Arm gepresst, ohne die Zirkulation zu stören.

Die Kontraktionen des m. add. pollicis durch den Strom werden mit Hilfe eines geeigneten Schreibers aufgezeichnet, ein Metronomunterbrecher wird in den Stromkreis gebracht, die Entfernung der Spulen auf dem Schlitten wird derart reguliert, dass man Kontraktionen des M. add. pollicis erhält, die registrierten Zuckungen stellen nun für den angewendeten Reiz den Erregbarkeitsgrad des N. ulnaris an der aktiven Elektrode dar. Man unterbricht nun den Strom durch Anhalten des Metronoms, lässt eine Viertelstunde lang einen konstanten Strom von 10 M.-A. derart eintreten, dass man die Ioneneinwanderung untersuchen kann, d. h. man nimmt die aktive Elektrode als Anode zur Durchlassung der Kationen, die Kathode zu der der Anionen. Nach fünfzehn Minuten schaltet man den Strom mit dem Kollektor aus, lässt das Metronom weiter schlagen und registriert von neuem die Zuckungen des Add. pollicis, der Unterschied der Amplitude dieser Zuckungen und der zuerst beobachteten bringt die Änderung in der Erregbarkeit des Nerven zur Anschauung. Um die starken Widerstandsschwankungen des Körpers herabzusetzen, wird ein grosser nicht polarisierbarer Widerstand in den Strom gebracht.

Indem man so nacheinander Zuckungen in Intervallen von zwei zu zwei Minuten hervorruft, sieht man die Erregbarkeit des Nerven allmählich auf ihren Ausgangswert zurückkehren.

Fig. 6 zeigt die Veränderung der Erregbarkeit unter dem Morphinion, die erste Gruppe der Zuckungen rechts zeigt die Erregbarkeit des

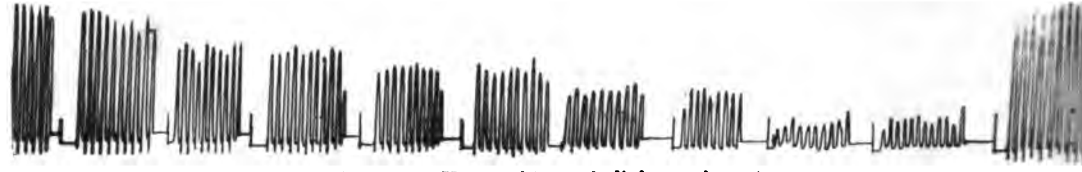


Fig. 6. (Von rechts nach links zu lesen.)

Nerven vor dem Versuch, die zweite Gruppe dicht nach dem Durchtritt eines einviertelstündigen 10 M.-A. starken Stromes mit der Anode am Nerven, die andern Gruppen sind in Pausen von je 2 Minuten nach einander aufgenommen; man sieht, dass die Erregbarkeit erst nach 18—20 Minuten ihren Anfangswert wieder erhält, diese Zeit kann natürlich nur die Eliminationszeit des Nerven für das Morphin sein.

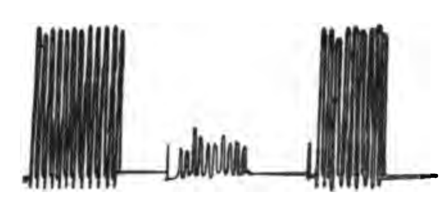


Fig. 7.

In Fig. 7 zeigt die rechte Zuckungslinie die Erregbarkeit nach Einführung von Morphin in den Nerven, die letzte linke Zuckungsgruppe die Nervenerregbarkeit nach $2^1/_2$ Minuten langem Durchtritt eines Stroms von 16 M.-A., der im entgegengesetzten Sinne verläuft, also mit der Kathode am Nerven; man sieht, wie der umgekehrte Strom die Rückkehr der Erregbarkeit beschleunigt, d. h. den Austritt des Morphins.

Fig. 8, deren Kurve als Morphinkurve aber mit der Kathode auf dem Nerven zur Einführung des Arsenions aufgenommen wurde, zeigt, dass dieses Ion die Erregbarkeit sehr wesentlich steigert, welche nach ungefähr 10 Min. ihren Normalwert wieder erreicht.

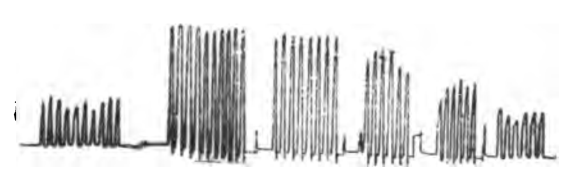


Fig. 8. (Von links nach rechts zu lesen.)

Das Salicylion (Fig. 9) ruft zuerst eine erhebliche Verminderung der Erregbarkeit hervor, diese nimmt ziemlich schnell ihre ursprüngliche Schwelle wieder an, überschreitet sie hierauf und kehrt nur langsam zu ihr zurück.

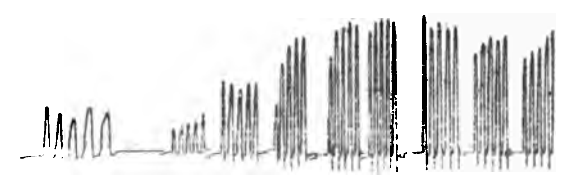


Fig. 9.

Fig. 10, 11 und 12 zeigen die Wirkungen der Kokaïn-, Lithium- und Kakodylione auf die Nervenreizbarkeit.

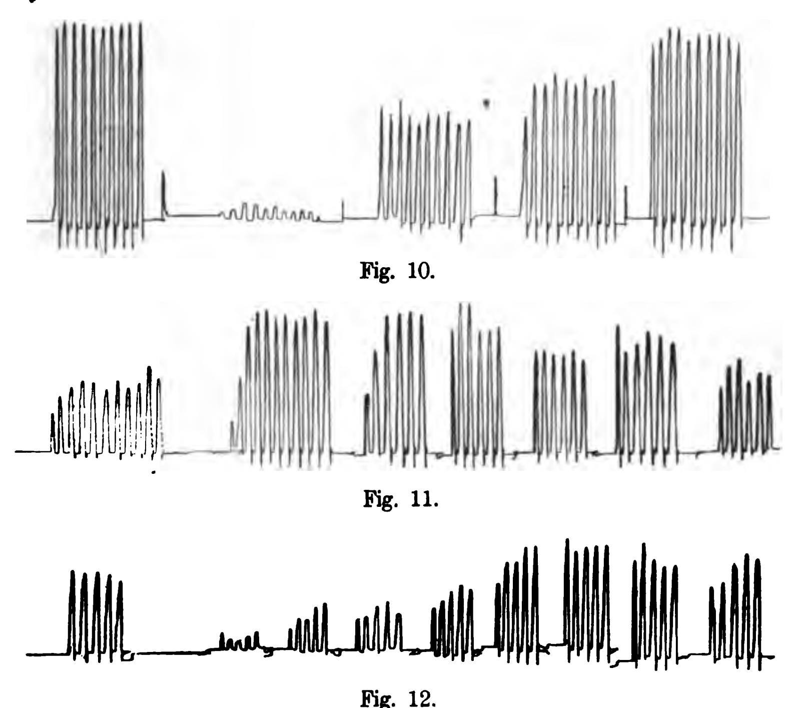


Fig. 10.

Fig. 11.

Fig. 12.

Alle diese Versuche zeigen deutlich, dass die Bedeutung der Ionen für die Nervenerregbarkeit im lebenden Gewebe eine hochwichtige ist.

Verwertung der Elektrolyse in der Medizin.

Die jüngst erschlossenen elektrolytischen Erkenntnisse am Organismus können für Diagnose und Therapie benutzt werden.

Schon die Verwendung der Messungen des elektrischen Körper-Widerstandes für die Diagnose wurden versucht, aber wir sahen, dass dieser Widerstand der Durchblutung und Durchtränkung der Haut zugeschrieben wurde, dass aber die Bedeutung dieser Faktoren auf den Widerstand fast verschwindend ist. Anderseits kümmerte man sich nicht um die Ionenbeschaffenheit und namentlich um die Strom-Spannung, unter der man den Widerstand mass; wir haben gesehen, dass der Widerstand der Haut hauptsächlich von diesen Bedingungen abhängt und dass er mit ihnen in ausserordentlichen Verhältnissen schwankt, nicht nur ums doppelte, sondern um mehr als das achtfache. Es ist klar, dass alle

bisher angestellten Körper-Widerstandsmessungen ohne die Berücksichtigung der Ionenbeschaffenheit und der Spannung an den Elektroden nicht verwandt werden können, denn sie sind einfach nicht zu vergleichen.

Aus unserer Darstellung folgt, dass man vollständig vergleichbare Resultate, die für die Diagnose verwertbar sind, erhalten wird durch Angabe 1) der Oberfläche und der Einwirkungsstelle der Elektroden, 2) der Art der Ionen bis zur Konstanz des Stroms, 3) der Spannungs-Differenz beider Elektroden im Augenblicke der Widerstandsmessung. Das beste ist, die Leitungskurven für die verschiedenen Ionen unter einer gegebenen Spannung und die Widerstandskurven für ein gegebenes Ion unter verschiedener Spannung zu zeichnen. Es ist sicher, dass die Vergleichung dieser Kurven unter gleichen Bedingungen der Diagnose wertvolle Hilfsmittel bieten wird, die reichlicher und viel umfangreicher ausfallen werden, als man auf Grund der alten Ansicht erwarten konnte, da so viele Kurvenpaare zu vergleichen sein werden, als es Ionen gibt. Die neueren Fortschritte bieten demnach hiermit den jungen Untersuchern ein fast unermessliches Feld, in welchem die einzuschlagenden Wege völlig festgelegt sind, da es genügt, nach den in dieser Arbeit beschriebenen Methoden für die verschiedenen Versuchsobjekte die Leitungskurven für die verschiedenen Ionen bei gegebener Spannung, und für ein gegebenes Ion die Widerstandskurven unter verschiedenen Spannungen zu ziehen. Die Reichhaltigkeit der durch diese Methode zu erwartenden Nachweise rechtfertigt die von uns gewählte Bezeichnung als elektrochemische Analyse der Gewebe des menschlichen Körpers.

Da die polaren Wirkungen nur Ionenwirkungen sind, so müssen sie durch alles, was den Ionenaustausch beeinflusst, stark abgeändert werden. Die elektrolytische Einführung von Ionen erfordert so sorgfältige Kautelen, wie die Handhabung der Asepsis. Macht man die aktiven Lösungen mit beliebigem filtriertem Wasser, wählt man die die Elektrode bildende hydrophile Substanz nicht sorgfältig aus, so bleibt die gewollte Wirkung nicht nur aus, sondern es tritt auch eine andere Wirkung auf. Die aktiven Lösungen müssen mit möglichst reinem, destilliertem und vor Luftzutritt geschütztem Wasser hergestellt werden. Die hydrophilen Gewebe müssen ohne eine Spur einer elektrolytischen Substanz sein; das famose, eine Zinnplatte bedeckende Gemsleder muss ganz aus dem elektrotherapeutischen Rüstzeuge verschwinden. Stoffe, die in einer Lösung von Pottasche gelegen haben, dürfen nicht verwendet werden.

Die Elektroden dürfen keine andere elektrolytische Substanz enthalten, als diejenige, die man verwenden will; sie müssen vor der Anwendung noch einmal in destilliertem Wasser gespült werden. Es

existieren hydrophile Baumwollengewebe, die diesen Forderungen genügen. Wenn möglich, soll die metallische Anode aus dem Metalle bestehen, das in der Flüssigkeit zur Befeuchtung der Elektroden enthalten ist. In anderen Fällen soll das den Elektrolyten enthaltende Elektrodenkissen so dick sein, dass die an ihrer Berührungsfläche mit den Elektrodenplatten entstehende Ionen nicht in die Haut eindringen.

Therapie.

Wir haben gesehen, dass die unangreifbaren Anoden sich alsbald mit einer sauren Hülle umgeben, die von den sauren Radikalen des Körperhaushalts und dem Hydrogen des Wassers, dessen Oxygen frei wird, stammt; diese Elektroden sind also gleich sauren Anoden, sie schaffen das Ion H in die Tiefe der Gewebe und ihre physiologische Wirkung ist derjenigen analog, welche man durch recht gleichmässig verteilte interstitielle Injektionen saurer Lösungen, deren Konzentration der Strom-Intensität proportional wäre, erreichen könnte. Man kann auf Grund dieser Erkenntnisse sich diese Wirkungen darlegen, aus der Indikation ihre Verwendung erschliessen, diese voraus bestimmen und regulieren.

Die angreifbaren aktiven Anoden also umgeben sich mit den Salzlösungen ihres Metalls, die durch die sauren Radikale des Körperhaushalts entstehen, sie wirken wie die interstitiellen ganz gleichmässig verteilten Injektionen dieser Salze, mit Konzentrationen, die den Intensitäten der Wirkung proportional sind; das sind also ebenfalls leicht zu übersehende Wirkungen, deren Indikationen man entsprechend beurteilen kann. Unsere Kenntnisse ermöglichen die Wahl des Metalls, aus welchem die aktive Anode im gegebenen Falle bestehen muss.

Die metallischen Kathoden sind gleich alkalischen Lösungen, wir können folglich ihre Wirkungen vorhersehen und ihre Indikationen beurteilen.

Wie wir in dem theoretischen Abschnitt gefunden haben, sind alle Kathoden aus Salzlösungen, gleich der interstitiellen Injektion (in vollkommen gleichmässiger Verteilung) von Salzen, die aus den Säure-Radikalen der Elektrodensalze in Verbindung mit den Basen des Organismus bestehen. Auch hier ist es somit leicht, die Wirkungen und zweckmässige Verwendung vorauszusehen und zu regeln.

Die Salzanoden sind gleich den Anoden aus aktiven Metallen und die gelegentlich an diesen letzteren gesammelten Beobachtungen sind auf sie anwendbar.

Diese einfache Aufzählung zeigt wohl, wie ausgedehnte Hilfsmittel die Elektrolyse der Therapie bietet, denn man kann ebensoviele spezielle lokale Wirkungen, als Ionen existieren, hervorrufen und mit einer Voll-

kommenheit, die keine andere therapeutische Methode gewährt, die Intensität dieser Wirkungen abstufen vom geringsten Grade bis zu einer für die Gewebe tötlichen Wirkung. Die Ausbreitung der lokalen Ionenwirkung gilt für alle Ionen ohne Ausnahme, sogar die am wenigsten aktiven, wie Natrium und Chlor, können sich in manchen Punkten des Gewebes so anhäufen, dass sie eine tötliche Wirkung auf die Zellen ausüben.

Die früheren therapeutischen Anwendungen werden durch die neuerlichen Fortschritte erläutert.

Indes sind die Anwendungsindikationen der therapeutischen Elektrolyse noch viel zahlreicher. Mit der Hineinschaffung mancher antiseptischer oder kaustischer Ionen besitzt man zur Desinfektion und Sterilisation der Gewebe in der Tiefe oder zur Ausübung einer kaustischen Wirkung das vollendetste Verfahren, das es in der Medizin gibt, welches am meisten den Anforderungen der modernen Wissenschaft entspricht.

Die Antiseptika sind entweder allgemein toxisch oder Eiweisskoagulatoren, die letzteren werden fast allein in der Praxis verwendet, sind aber als Gerinnselbilder nur oberflächliche Antiseptika; das lebende Gewebe ist für sie absolut undurchdringlich; eine Tatsache, die ich gern besonders betonen möchte, ist, dass für diese ganze so wertvolle Medikamentenklasse der elektrische Strom das Eindringen bis zu jeder beliebigen Tiefe der lebendenden Gewebe erlaubt, die eiweisskoagulierenden Substanzen diffundieren nicht und der elektrische Strom ist das einzige Mittel, welches wir haben, um sie ins Gewebe zu bringen. Aus diesem Verhalten folgen bestimmte Anzeichen für die jedesmalige Verwendung der Ionenmedikation, wenn man in der Tiefe desinfizieren will. Die Elektrolyse ist fast das einzige Mittel, über das wir in dieser Hinsicht verfügen.

Beim Kapitel vom Widerstande habe ich dem Befremden Ausdruck gegeben, welches das zähe Festhalten der Wissenschaft an irrtümlichen Auffassungen unter der Herrschaft der Tradition und der Gewohnheit zeitigen kann und muss. Ein noch interessanteres Faktum ist es, zu sehen, wie die Medizin manche Lehrsätze als absolute, felsenfeste Wahrheiten hinstellt und dabei Methoden ersinnt, die im vollständigen Widerspruche mit diesen Prinzipien stehen. So sind z. B. die Notwendigkeit der Asepsis, die Nützlichkeit der Antisepsis bei der chirurgischen Operation eine allgemeine Forderung und trotzdem sehen wir, wie die Chirurgen, nachdem sie so oft gesagt haben, dass Gewebetrennung nur in völlig aseptischem Operationsfelde stattfinden darf, mit ihren scharfen Curetten in tuberkulöse Herde hineinfahren, dort zahllose Gefässe er-

öffnen, den Bazillus in die Blutbahnen bringen und so die fast stets darauffolgende Entstehung zahlreicher metastatischer Herde hervorrufen. Diese Bemerkung gilt für die Auskratzung der Gebärmutter, des Nasenrachenraumes und viele andere gefährliche Operationen. Alle diese Operationen müssen verlassen und durch die geeignete elektrolytische Ionenbehandlung ersetzt werden. Bei Anwendung einer aktiven Zinkanode gibt es nach ein bis höchstens vier Sitzungen keine ungeheilte Endometritis mehr, ohne dass dabei chloroformiert, Gefässe geöffnet, eine allgemeine Infektion riskiert zu werden braucht. Wir haben nie eine Metrorrhagie gesehen, die der elektrolytischen Zinkanode widerstanden hätte, bei 15—20 Minuten langen Sitzungen und 100 M.-A. Stromstärke. Zink ist eines der antiseptischsten Metalle, eine Elektrode aus 12—20 Lagen hydrophiler Gaze, getränkt mit einer Chlorzinklösung von 1 Prozent, als Anode auf ein vereitertes Gewebe, chronische Geschwüre, tuberkulöse Herde, ein Cancroid des Gesichts appliziert, gibt nach ein bis vier Sitzungen bei 2 M.-A. Stromstärke pro qcm und von 15—20 Minuten Dauer anhältig eine vollständige Wund-Desinfektion, eine rasche Narbenbildung, zur Verwunderung aller Fachleute, die es sehen. Die Operation erfordert fast keine Nachbehandlung, da die behandelte Fläche mit einer gewissen Schicht sterilen Stoffes bedeckt bleibt, der mit dem medikamentösen Ion durchtränkt und der beste antiseptische Verband ist. In der Folge genügt es, einen Verband anzulegen, um die Wunde vor mechanischer Reizung und Unsauberkeit zu schützen. Notwendig zur Erzielung einer gleichmässigen Wirkung auf der gesamten zu behandelnden Fläche ist ein gewisser Grad von Kompression mit Hilfe einer elastischen Binde.

Es ist klar, dass diese Beobachtungen sich nicht auf die Säure-Ätzungen des Hydrogen- oder die Alkaliwirkung des Hydroxyl-Ions beziehen, welche die Gewebe zerstören ohne das antiseptische Ion zu erhalten.

Eine der regelmässigsten therapeutischen Wirkungen des galvanischen Stromes ist seine resolvierende Kraft auf die sklerösen und narbigen Bildungen, seine sklerolytische Wirkung. Vollkommene Ankylosen der Gelenke heilen schnell ohne gewaltsame Bewegungen, ohne Schmerz, die Ankylose verschwindet von Tag zu Tag, die Gelenke erlangen die völlige Beweglichkeit wieder. Für sämtliche Gliedergelenke, ausser der Hüfte und der Schulter, ist das Resultat sicher, regelmässig, schnell, wenn nur die Krankheitsursache nicht weiter wirkt und keine Infektion eintritt, welche die Wirkung des Stromes vernichtet. Die elektrische Sklerolyse erhält man an Kathoden von 1 prozentiger Kochsalzlösung, eine solche Sklerolyse ist Elektrolyse. An der Kochsalzkathode verlieren die oberflächlichen Gewebe ihre Kationen, welche von denen der tiefen Schichten

ersetzt werden und das Chlorion der Kochsalzlösung aufnehmen. Dieser Austausch ändert vollständig ihre chemische Konstitution, wie es die Änderung der elektrischen Leistungsfähigkeit zum Ausdruck bringt. An einer Elektrode von 6 qcm haben wir den konstanten Widerstand, d. h. nach Saturation der Gewebe durch das Chlorion, zu 600 Ohm bei 2 Volt, 3200 Ohm bei 4 Volt, 2700 Ohm bei 6 Volt und 1700 Ohm bei 8 Volt gefunden. Diese erheblichen Schwankungen sind der Ausdruck der proportionellen Veränderung der chemischen Konstitution der Gewebe, und die Erfahrung zeigt, dass diese Veränderungen an einer Kochsalzkathode Sklerolyse bewirken.

Soll man vielleicht zu der Deutung der polaren Wirkungen des konstanten Stroms die Bewegungen des Wassers im Organismus heranziehen? Dubois Reymond hat seit 1860 die Austrocknung der Gewebe um die Anode und die daraus resultierende Widerstandsvermehrung betont.

Bringt man auf eine Glasplatte schleimige, feuchte Körner und Wasser und schickt einen elektrischen Strom hindurch, so sieht man die Körner austrocknen und sich nach der Anode bewegen, während der Schleim sich an der Kathode anhäuft, woselbst die Körner sich entfernen (Fig. 13). Diese Wirkung ist dem Übergange von Wasser von der Anode zur Kathode zuzuschreiben. Ensch hat einen ähnlichen Vorgang beim Frosch nachgewiesen. Jedenfalls ist Sklerolyse an der Kochsalzkathode immer dann eine regelmässige, konstante und wirkungsvolle Erscheinung, wenn das skleröse Gewebe für den elektrischen Strom mit genügender Dichte erreichbar ist.

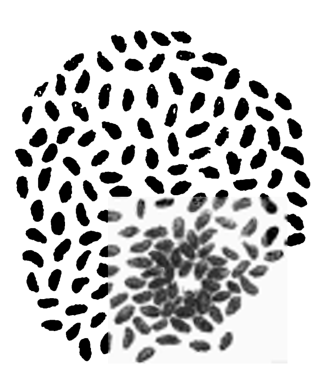


Fig. 13.

Wir haben eine Ankylose sämtlicher Finger und des Handgelenks gesehen, die sich an eine Phlegmone der Hand angeschlossen, sechs Monate bestanden und zahlreichen Behandlungsmethoden getrotzt hatte, worunter die gewaltsame Streckung in der Narkose, und welche nach zwei galvanischen Sitzungen vollständig verschwand. Wir haben eine grosse Zahl vollständiger Knie-Ankylosen dem elektrischen Strom völlig weichen sehen. Dieser ist um so wirkungsvoller, je besser ihm die kranken Teile zugänglich sind, deshalb erhält man die besten und schnellsten Ergebnisse an den Gelenken, die nicht mit Weichteilen umgeben sind und deshalb sind auch die Hüft- und Schultergelenkaffektionen für diese Behandlungsart so refraktär.

Aus demselben Grunde sind die Fortschritte am Beginn der Behandlung rascher als später. Zur Einwirkung auf tiefe Teile braucht man so starke Ströme, als die Personen es ertragen können.

Bei allen elektrolytischen Anwendungen des galvanischen Stroms ist die Elektrodenfrage sehr wichtig. Zur Anwendung der Lösung verwenden wir einen Stoff von hydrophiler Gaze, den wir zehn oder zwanzig Mal zusammenlegen, dieser Stoff wird gut angefeuchtet und schmiegt sich dann sehr gut an die Haut, auf welcher wir ihn ausbreiten, wir ziehen ihn an, umwickeln mit ihm ein Glied oder sogar den Körper, er wird dann mit einer elastischen Metallplatte zugedeckt, über der man die kleine mit dem Rheostaten in Verbindung stehende Metallplatte befestigt; es ist gut, alles mit einer Binde zu fixieren. Diese Anordnung erheischt grosse Reinlichkeit, die hydrophile Gaze muss nach jeder Sitzung gewaschen und gekocht werden. Man kann so sehr starke Ströme einwirken lassen. Spürt der Kranke unter der Elektrode einen lebhaften lokalisierten Schmerz, so muss man alsbald den Strom unterbrechen und die Elektrode aufheben; man wird dann eine Exkoriation finden, die man mit einem Tropfen Kollodium betupft; man kann hierauf die Sitzung wieder beginnen und man wird bei solchem Vorgehen nie Schorfe bekommen.

Bei den gegen die Therapie sehr widerspenstigen sogenannten rheumatischen Scleritiden und Episcleritiden ist die Wirkung des auf das geschlossene Lid applizierten negativen Pols konstant und rasch, man verwendet 5—10 M.-A., je nach Toleranz des Kranken, 5—10 Minuten lang; in zwei bis fünf Sitzungen, zwei Mal wöchentlich, sieht man die ältesten und refraktärsten Skleritiden verschwinden. Ebenso wirksam ist die Behandlung gegen chronische Iritis. Trotzdem wir nie dazu haben greifen müssen, so wäre bei aseptischer und Kokaïnanwendung eine Elektrodenapplikation hydrophiler Gaze mittels Metallwelle um den Augapfel selbst gewiss sehr einfach.

Ich habe Fälle von Ozaena geheilt, die jahrelang allen flüssigen oder pulverigen Lokalapplikationen widerstanden haben, indem ich in drei oder vier Sitzungen das Ion Zink mit einer in verdünntes Zinkchlorid getauchsten Elektrode einführte, die um einen Zinkstab gewickelt war; nach Einführung des umwickelten Stabes in ein Nasenloch liess ich während einer Viertelstunde 6—10 M.-A. passieren; dabei war das freie Ende der Elektrode durch Gummipapier von der äusseren Haut isoliert.

Die Einführung des Ions Zink leistet besonders gute Dienste bei der Behandlung von Fussgeschwüren, eingewachsenen Nägeln, ulcerierten Leichdornen, entzündeten Schwielen und dergl.

Ich habe anderwärts die ausgezeichneten Erfolge geschildert, die man bei gewissen Neuralgieen durch elektrolytische Einführung der Salicylsäure- und Chinin-Ionen erzielt. Professor Bergonié und seine Schüler haben gezeigt, wie ausgezeichnet bei Rheumatismus die Einführung des Salicyl-Ions wirkt.

Übrigens ist die Verwertung des elektrischen Stromes zur Einverleibung von Medikamenten der Erkenntnis der Erscheinung vorausgegangen. Um 1846 behauptet Dr. Klenke die Skrofeln durch elektrische Jodeinführung geheilt zu haben. Hassenstein veröffentlichte 1855 ähnliche Beobachtungen. 1886 behandelte Wagner Neuralgie durch elektrolytische Kokaïnanwendung, Herzog benutzte dasselbe Mittel zur Urticariabehandlung, Peterson führte auf elektrischem Wege Kokaïn und Aconitin bei der Behandlung der Neuralgien in den Körper ein, Schroster und Albran behandelten Augenerkrankungen durch elektrolytische Jodeinführung.

C. Gärtner und Ehrmann, später Kronfeld behandelten mit Erfolg Syphilis, indem sie auf elektrolytischem Wege das Quecksilber des Sublimats in dem Gärtnerschen Zweizellenbade in den Körper brachten: der Merkur trat im Urin auf und die therapeutischen Resultate sind zweifellos.

1889 wies Edison auf die elektrolytische Einführung des Lithiums für die Behandlung der Gicht hin. Diese Behandlung wurde mit Erfolg von Labatut, Jourdanet, Porte, Guilloz, Bordier und Leuillieux ausgeübt.

Foveau de Courmelles schlug vor, die Tuberkulose durch elektrolytische Jodeinführung zu behandeln.

Reynold behandelte die parasitären Hautkrankheiten, den Favus, die Pityriasis versicolor, den Herpes tousurans usw. mit elektrolytischer Merkuraufnahme, wobei eine Sublimatlösung als Anode diente.

Sudnik behandelt die örtliche Tuberkulose durch Chlorzink-Elektrolyse.

Prof. Bergonié und Roques behandeln rheumatische Affektionen mit dem Salicylion, ich selbst habe eine Anzahl Neuralgien mit sehr befriedigendem Ergebnisse mit Salicylion behandelt.

Die elektrolytische Methode kann ebenso als Eliminationsmethode für toxische und pathologische Ionen gelten; schon 1855 benutzte sie Poey in New-York zu diesem Zwecke (Comptes rendes, Académie des Sciences de Paris), 1873 schrieb Engel in Nancy eine Doktorarbeit unter dem Titel: Über die Metalle des menschlichen Körpers und im besonderen über ihre Austreibung durch den elektrischen Strom. Franken-

häuser hat kürzlich auf experimentellem Wege die Auswanderung der Körperionen bei der Elektrolyse in Übereinstimmung mit der Theorie aufgezeigt und Bordier hat das Ausscheiden des Harnsäure-Ions unter dem Einfluss des Stroms festgestellt.

Die heutige Theorie kommt bei allen Anwendungsweisen der Elektrolyse zur Geltung: bei der Behandlung der Aneurysmen und Tumoren (Ciniselli, Tripier, Betton Massey), in der Gynäkologie bei Anwendung unangreifbarer Elektroden (Chéron, Apostoli), oder mittels löslicher Elektroden (G. Gautier, Boisseau du Rocher, Alb. Weill) gegen die Verengerung der organischen Röhren (Jardin, Fort, Newman), gegen die Angiome (Bergonié), in der Epilation usw. Alle diese Anwendungsweisen besitzen heute eine vollständige wissenschaftliche Grundlage, welche ihrer Anwendung eine grosse Präzision verleiht.

Diese Aufzählung zeigt, für wie viele ärztliche Verrichtungen die Elektrolyse heute schon geeignet ist; ganz gewiss werden die grossen Fortschritte der Theorie durch die Klarheit und Sicherheit, welche sie über die Methode verbreiten, eine noch weit reichere Anwendung derselben veranlassen.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Ahrweiler und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.

Heft 4.

Die Franklin^sche Elektrizität in der medizinischen Wissenschaft und Praxis.

Von
Dr. August von Luzenberger,
Professor der Neuropathologie an der Universität zu Neapel.

Mit 24 Abbildungen.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes, darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. 29 S. 1904. M. —.80.

Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. 50 S. 1904. M. 1.20.

Heft 3: **Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes. 47 S. mit 26 Abb. 1905. M. 1,50.

Heft 4: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel. 98 S. mit 24 Abb. 1905. M. 2.80.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. L. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in **Ahrweiler.**

Jährlich 12 Hefte. * Abonnementspreis Mk. 12.—.

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

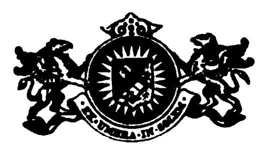
Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

Heft 4.

Die Franklinsche Elektrizität
in der
medizinischen Wissenschaft und Praxis.

Von
Dr. August von Luzenberger,
Professor der Neuropathologie an der Universität zu Neapel.

Mit 24 Abbildungen.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Inhalts-Verzeichnis.

I.

Die später sogenannte statische oder Franklinsche Elektrizität ist die erste Form, in welcher dieses das All durchdringende Agens und dessen Molekularbewegung sich unseren Sinnen dargeboten hat.

Sechs Jahrhunderte vor unserer Zeitrechnung war einem der sieben Weisen Griechenlands, dem Thales von Mileth aufgefallen, dass gelber Bernstein (ἐληκτρον) durch Reiben die Eigenschaft erhält, kleine Gegenstände anzuziehen, weswegen er ihn mit dem Lydischen Eisenerze, Magnet genannt, verglich und ihm magnetische Kraft zuschrieb.

Ungefähr um dieselbe Zeit, ohne dass einer von dem andern eine Ahnung hätte, beobachtete im fernem Osten, in China, der gelehrte Kuh-Foh die Anziehungskraft des Bernsteins und verglich dieselbe mit jener Kraft, welche das drehbare Standbild in Peking sich immer gegen Süden wenden liess. Diese Statue selbst war viel älter und der Sage nach vom Kaiser Hoang-Tih aufgerichtet worden. Aber trotz des hohen Alters solcher Vorahnungen äusserte erst der italienische Philosoph Romagnosi, auf spekulativer Grundlage fussend, dass die zu seiner Zeit eben erfundene Elektrizität der Voltaschen Säule auf die Magnetnadel einen Einfluss ausüben müsste. Tatsächlich gelang es Arago und Ampère (um das Jahr 1820), die gegenseitigen Wirkungen elektrischer und magnetischer Kräfte experimentell nachzuweisen und ihre engen Beziehungen darzustellen. Infolge ihrer genialen Auffassung, die nachträglich fort und fort zu einer grossen Genauigkeit entwickelt wurde, sprechen wir heutzutage fast gar nicht mehr von magnetischer Kraft, sondern von magnetischen Feldern, worunter wir die Einflusssphäre der dynamischen Elektrizität verstehen.

Das grösste Hindernis wurde dem Fortschritte physikalischer Kenntnisse über die Elektrizität, zu Zeiten der Einführung der experimentellen Methode, dadurch in den Weg gestellt, dass die damaligen Forscher keine Mittel hatten, dieselbe in genügender Menge zu produzieren.

W. Gilbert (1540—1603) hatte zwar schon erkannt, dass auch andere Körper durch Reiben dieselbe Eigenschaft wie der Bernstein erhielten, und stellte solche, die er deswegen elektrisch benannte, andren entgegen, welche dieser Eigenschaft baar waren und die er anelektrisch nannte; er ist der erste, der den Ausdruck Elektrizität, als Eigenschaft

des Bernsteins, dem Magnetismus, die Kraft des Magneteisensteins entgegenstellt. Er hatte auch beobachtet, dass manche Körper durch blosse Berührung diese Elektrizität übernehmen konnten (symperelektrische Körper). Kurz darauf fügte Otto von Guericke die erste Elektrisiermaschine dadurch zusammen, dass er eine massive Schwefelkugel auf eine eiserne Axe aufspiesste und dieselbe rasch drehend auf seine Handflächen reiben liess, wodurch er elektrisches Knistern deutlich demonstrieren konnte, während Hawskbee dasselbe mit einer Glaskugel leistet, und Wall die daraus gezogenen Funken mit dem Blitze vergleicht. Das alles war aber äusserst primitiv; es bedurfte wohl ein volles weiteres Jahrhundert zur Erkenntnis einer positiven und einer negativen Elektrizität (Dufay)[1]), welche Erkenntnis nun die Forscher ganz in Anspruch nahm mit der Streitfrage, ob die zwei Elektrizitätsarten nur verschiedene Erscheinungsweisen desselben Fluidums (Franklin, Epinus) darstellen sollten, oder ob sie zwei grundverschiedene Fluida sein können, welche nach Symmer (1759) in allen Körpern aneinander festgebunden vorhanden, und durch Reibung freigelegt werden. Erst die Erfindung Stephan Grays (um 1720) von nichtleitenden Körpern gab Gelegenheit, grössere Mengen Elektrizität zu konzentrieren und eröffnete den weiteren Untersuchungen ein grösseres Feld. Gray gelang durch Aufhängen eines Knabens an Haarflechten, ihn mit Elektrizität laden zu können, was de Cisternay du Fay mit noch grösserem Resultate wiederholte, indem er aus dem elektrischen Knaben Funken herauszog. Dieser zeigte ebenfalls, dass Metalle gute Leiter sind, aber dass auch ein Faden durch Nassmachen leitend gemacht werden kann. Er beobachtete, dass, wenn man zwei mit Haaren aufgehängte metallische Stäbe elektrisiert, sich diese abstossen; dieselben sich indessen anziehen, wenn man den einen mittelst eines geriebenen Glasstabes, den andern mit elektrisiertem Pech anrührt.

Bose in Wittenberg hob hervor, dass durch das Abziehen der Elektrizität ein Körper an Gewicht keine Einbusse erlitt. Es gelingt ihm auch, Schiesspulver mit dem elektrischen Funken anzuzünden.

Der schon genannte Stephan Gray zeigt auch, dass die Elektrizität sich lediglich an der Oberfläche der Körper ansammelt, eine vollkommen richtige Beobachtung, welche aber später unter dem Namen des Faradayschen Gesetzes einseitig aufgefasst, den Fortschritten der Franklinschen Elektrizität auf therapeutischem Gebiete so sehr im Wege

---

[1]) Hawskbee hatte zwar beobachtet, dass auch Glas durch Reiben elektrisch wird, hatte aber nicht erkannt, dass dessen Spannung der des elektrisierten Bernsteins oder Schwefels entgegengesetzt sei.

stand. Aber davon später. Jedenfalls war diese Beobachtung der nächste Schritt zur Erfindung der Elektroskope und Elektrometer.

Diese, anfangs nur Messinstrumente, weckten in dem genialen Geiste, welcher zu Beginn des vorigen Jahrhunderts einen bahnbrechenden Einfluss auf die Entwickelung dieses physikalischen Gebietes ausüben sollte, und welchem wir durch die Erfindung der leitenden Elektrizität den Antrieb zum jetzigen noch unübersehbaren materiellen und industriellen Fortschritt verdanken, in Alexander Volta (geb. in Como 1745 † 1826) die Idee, sich deren vergrössert und teilweise modifiziert zu bedienen, um grössere Mengen elektrischer Ladungen zu kondensieren; führten aber zugleich zur Erkenntnis, dass Elektrizität ausser durch Reiben und direktes Überspringen dadurch entstehen könne, dass wir leitende Körper in die Influenzsphäre eines vorher direkt geladenen Körpers bringen, woraus der Name Influenzelektrizität entstand. Er hatte nämlich beobachtet, dass wenn er einen Pechkuchen durch Schlagen mit einem Fuchsschwanze elektrisch machte und eine Metallscheibe darauf legte, diese augenblicklich sich mit derselben Elektrizität lud, falls er aber sie mit einem Finger anrührte und hierdurch mittelst seines Körpers eine Erdleitung hervorrief, und hierauf die Scheibe mittels eines Glasgriffes entfernte, dieselbe ebenfalls elektrisch war, aber mit entgegengesetzter Elektrizität beladen. Er erklärte jene Tatsache durch die Annahme, dass in jedem guten Leiter zwei entgegengesetzte an einander festgebundene elektrische Fluida vorhanden seien, aber im latenten Zustande, dass durch das Anlegen der Metallscheibe am negativ elektrischen Pechkuchen die positive Elektrizität von ihrem Gegenpartner im Kuchen gebunden gehalten werde und zugleich die aus der Verbindung frei gewordene negative eine markante Tendenz zeige abgestossen zu werden, was durch die etablierte Erdleitung leicht geschehen konnte. Übergab er nun die durch Entfernung der Metallscheibe angebunden gebliebene Ladung einem dritten Körper und wiederholte mehrere Male die Prozedur, so konnte er hierdurch beliebig grosse Mengen auf diesem, der dadurch ein Kollektor wurde, ansammeln. Er benannte deswegen sein Instrument Elektrophor (Fig. 1). Volta erreichte damit zwei grosse und wichtige Neuigkeiten: Die erste, dass er ohne weiteres Reiben eine ganze Reihe von Ladungen und Entladungen hervorbringen konnte; die zweite: das Prinzip, dass Elektrizität in der Materie schlummere und dass man dieselbe durch

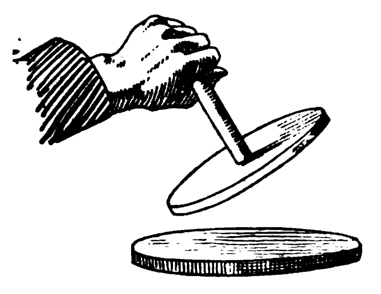


Fig. 1.

einfache Mittel erwecken könne dadurch, dass man die Fesseln, welche die gegenseitigen Spannungen zusammenhalten, trenne.

Aber nicht allein mit Anlegen der Metallscheibe auf einem durch Reiben elektrisch gemachten Pechkuchen und nachträglicher Erdleitung mittelst Berührung kann man elektrische Influenzladungen hervorrufen: dasselbe geschieht auch, wenn man einen guten Leiter (Metallscheibe oder Stanniolblatt) einem schon beladenen metallischen Körper nur auf eine kleine Entfernung nähert, wobei zwischen den beiden eine Isolierstrecke entsteht (Luft), oder man sie künstlich dazwischenlegt (Ebanit, Glas, Paraffinpapier). Wenn man so dem früher unbeladenen Körper eine momentane Erdleitung zufügt, so wird die freigelegte, der Elektrizität des influenzierenden Körpers gleichgesinnte Elektrizität entfernt und die zwei Ladungen halten sich einerseits gegenseitig fest, andererseits wird der direkt gesättigt beladene Körper fähig, eine weitere Ladung aufzunehmen. Ein so konstruierter Apparat heisst deswegen Kondensator. Volta bediente sich zu dem Zwecke zweier gleich grossen Metallscheiben mit Glasgriffen, zwischen welchen er eine Glastafel legte.

Schon vorher (1745) hatte Kleist, Pfarrer in Kamin (Pommern) versucht, eine auf Wasser in einem Glase, welches er in der Hand hielt, schwimmende Stahlnadel zu elektrisieren, wahrscheinlich mit der Absicht, erdmagnetische Eigenschaften darin zu entdecken, und hatte zu seinem grossen Erstaunen kräftige Schläge in beiden Armen bekommen in dem Augenblicke, als er mit der freien Hand die Nadel anrührte. Er bemerkte dabei, dass das Wasser die Ladung aufnahm und dadurch zum Kondensator werden konnte. Mushenbroek und Cunaeus wiederholten auf der Universität zu Leyden dessen Experimente, da sie aber das Glas oder die Flasche auf den Tisch gestellt hatten, fielen diese zuerst negativ aus; hierauf verstanden sie die Wichtigkeit der Hand als kondensatorische Fläche und führten den äusseren und inneren Metallbelag ein, wodurch erst die echte Leydener Flasche entstand: dieser Name wurde ihr vom Abbé Nollet beigelegt. In ihrer typisch gewordenen Form (Fig. 2) besteht sie noch heute aus einem grossen Glase (teilweise noch mit verengtem oberem Halse, meistenteils aber vollkommen zylindrisch), dessen äussere und innere Fläche ungefähr bis zur Hälfte der Höhe mit Stanniolbelag bedeckt ist, und aus welcher ein unten von Metallspänen oder Metallbändern umgebener



Fig. 2.

Stift hervorragt, der in einen oberen Knopf endigt — diese innere Armatur ist durch einen Kork oder Ebanitdeckel festgehalten, und wird mit der Elektrizitätsquelle in Verbindung gesetzt; die äussere dagegen führt mittelst einer Kette zum Boden. Sie ist, nachdem sie Jahrzehnte lang nur die physikalischen Kabinette der Gymnasien bewohnt hatte, wieder ans Licht gekommen, zuerst durch die sogenannten Mortonschen Ströme, nachher als unentbehrliches Substrat der hohen Frequenz sowohl beim Marconischen Lufttelegraphen als auch in der therapeutischen Anwendung derselben (Arsonvalisation).

Eine andere Form von Kondensatoren (Fig. 3) verdanken wir Franklin, welcher eine dicke Glasscheibe mit Stanniolfolie auf beiden Seiten belegte, rings herum einen isolierenden Saum freilassend. Demselben Prinzipe folgend bedienen wir uns heutzutage zur Konstruktion der Kondensatoren, welche den primären Spulen teils zur Verstärkung des Stromes, teils zur Regelung des Unterbrechungsfunkens untergelegt sind, des Paraffinpapiers als Isolirschichte. Mehrere Blätter davon werden aneinandergelegt und zwischen denselben Stanniolblätter etwas kleineren Formates; nun werden mittelst Stanniolstreifen der 1., 3., 5. etc., respektive der 2., 4., 6. etc. mit einander verbunden; dadurch erreicht man in kleinem Volumen sehr grosse Kondensatorenflächen. Oder man kann auch durch einfaches Übereinanderlegen, ohne die Nebenverbindungen, sehr hohe Kondensatorenspannungen erhalten. Mund bedient sich zur Kräftigung seines kleinen Messinstrumentes, Franklinometer genannt, wovon wir Näheres später sagen werden, einer ähnlichen Disposition von Ebonitplatten, die mit Stanniol beiderseits belegt sind.

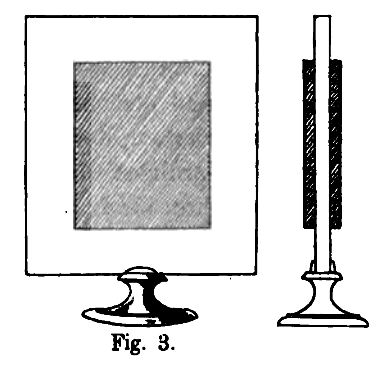


Fig. 3.

Ich habe mich auf die Beschreibung und auf die Erklärung der Kondensatoren und des Voltaschen Elektrophors näher eingelassen, weil dieser uns besonders dazu dienen wird, die Leistungen der modernen Elektrisiermaschinen aufzuklären; ich muss aber, bevor ich mich mit den Fortschritten in der Technik und deren Anwendungen befasse, noch einen Schritt zurück: ich muss nämlich noch die Verhältnisse der atmosphärischen mit der künstlich erzeugten Elektrizität berücksichtigen und betrachten, welche Stelle jene in der Wissenschaft überhaupt und in der Medizin speziell erhalten hat.

Schon anfangs des 4. Jahrhunderts hatte Sankt Elmus, Bischof zu Formia, leuchtende Flammen von den Schiffsmasten gen Himmel steigend beobachtet, wovon der Name Sankt Helms Feuer. Aber nicht als elektrische Erscheinung, sondern als Vorboten göttlicher Strafe oder Mahnungen wurden sie aufgefasst. So auch der Blitz, jenes so schreckenerregende und grossartige Naturphänomen, dass es bei allen primitiven Völkern als die fürchterliche Waffe des rachsüchtigen Obergottes aufgefasst wurde und welchen die Etrurischen Haruspices zu Opferzwecken aus den Wolken hervorzulocken verstanden, wie uns die Erzählungen Titus Livius über das römische Königtum bezeugen. Die Kenntnis, dass er ein Produkt elektrischer Entladungen sei, ist ziemlich jung. Wir finden die ersten Ahnungen davon im Anfange des XVIII. Jahrhunderts. Die Akademie zu Bordeaux gab im Jahre 1726 das Thema: Über die Ursache und Natur des Blitzes und des Donners. Es blieb aber unbeantwortet, und erst im Jahre 1750 finden wir einen Bericht über das Verhältnis zwischen der Erscheinung des Donners und der Elektrizität. Es ist ein Verdienst des Richters Jacques de Romas, geboren zu Nérac im Jahre 1713, auf experimentellem Wege den Blitz auf seine elektrische Qualitäten studiert zu haben. Ihm verdanken wir die genaue Kenntnis, was für elektrische Zeichen auf einem isolierten Metallstabe entstehen, welcher gegen den Himmel gehoben wird, und aus den von ihm beschriebenen Beobachtungen leuchtet schon das später demonstrierte Gesetz heraus, dass das Potentiale einer Luftschicht desto höher ist, je entfernter dieselbe vom Erdboden ist.[1]) Um diese Tatsachen in eine weitere Ausdehnung zu verfolgen, pflanzte er zuerst auf das Dach seines Hauses zwei Eisenstangen, die eine zehn Fuss länger als die andere, und nicht damit zufrieden, verfiel er auf die Idee, sich eines „einfachen Kinderspielzeuges" zu bedienen, des fliegenden Drachens. Er wollte „die leitenden Körper so hoch als möglich in die Gegend der Wolken bringen, um das Feuer des Himmels zu verstärken." Er sieht die grossartigen und fürchterlichen Effekte, die er erreichen wird, voraus, und schützt sich vor der Gefahr. Um das Gelingen des Experimentes sicherzustellen, verflicht er in das Hanfseil einen dünnen Kupferfaden und isoliert ihn von seinem Körper durch eine dicke Seidenschnur, an welcher er zieht, um den Drachen in die hohen Luftschichten steigen zu lassen. An dem leitenden Seil hängt wie ein Pendel ein Metallcylinder, auf welchem sich die Elektrizität ansammelt und woraus er mit dem Finger elektrische Funken entladet. Er gebraucht dazu auch eine Metallkugel,

[1]) Siehe darüber, sowie überhaupt über das Leben und die Verdienste dieses genialen Mannes die Monographie Bergonié's „Eloge de Romas". Bordeaux 1896.

die mit einer Kette zur Erde führt und die er mit einem Glasgriffe hält, um selbst die sonst schmerzhaften Schläge nicht zu spüren. An einem Gewittertage werden diese so gross, dass er genötigt ist, mit der ganzen Kraft seiner Autorität, die sich drängende Volksmenge zu entfernen. Als er sich eines 1100 Fuss langen Seiles bediente, sah er Feuerbüschel (des traits de feu) heraussprühen, die 6—12 Fuss Länge erreichten, einige wenige sogar 18 Fuss! Ein unbekannter Geruch wie von verbranntem Schwefel (von Ozon, das ist elektrolytisch combinierter Sauerstoff) entsteht in der Umgebung; das Seil wird trotz des hellen Tages glänzend und erscheint als Feuerband, das Himmel und Erde vereinigt. Drei lange Strohhalme, die zufällig auf dem Boden liegen, fangen an zu hüpfen und sind vom Zylinder angezogen und sofort wieder abgestossen. Inzwischen donnert ein heftiger Knall und bohrt in den Boden ein Loch, woraus eine wirbelnde Staubwolke herausgeschleudert wird. „Der Blitz war besiegt und gefesselt, die Menschen aber nicht und als de Romas sein Experiment in Bordeaux wiederholen wollte, da machte ihm das Volk böse Miene und er musste fliehen.“ (Foveau de Courmelles[1]). Zu gleicher Zeit hatte auf demselben Wege des fliegenden Drachens aber mit bescheideneren Mitteln. Franklin (1706—1790) in Philadelphia dieselbe Entdeckung gemacht, wahrscheinlich ganz unabhängig und ohne Wissen der Experimente Romas[2]); nur dass er daselbst Sinn für seine Studien fand und statt für einen Zauberer zu gelten, sie fortsetzen konnte bis zu einer nützlichen Erfindung, zur Konstruktion des Blitzableiters (1753). Deswegen ist auch der Name Franklin in der ganzen Welt bekannt, und die statische Elektrizität benennt sich ihm zu Ehren auch franklinische Elektrizität, während der Néracsche Richter längst vergessen war, bis gelehrte Elektrotherapeuten ihn aus den Archiven der Akademie zu Bordeaux ans Licht brachten.

Alle diese Experimente wurden an Gewittertagen ausgeführt; die rasche Bewegung der Wolken, die Verdichtung der atmosphärischen Feuchtigkeit in einer gegebenen Höhe, während die unteren Schichten plötzlich eine Verminderung des barometrischen Druckes eingehen, bedingen eine Vermehrung und eine Verschiebung der Elektrizitätsmengen, welche den Hagel hervorrufen und Entladungen in Form von Blitzen zustande bringen. Aber auch bei heiterem Himmel und ruhiger Luft ist die Atmosphäre elektrisch, sie befindet sich in positiver Ladung, während

---

[1]) L'électricité curative. Paris. Delarue. pag. 25.

[2]) Auch Richmann, Sekretär der Akademie der Wissenschaften in Petersburg, wollte ähnliche Versuche mit einer starren Metallstange ausführen, wurde aber dabei von einem Blitze erschlagen.

die harte Erdkugel negativ elektrisiert ist. Es dürften vielfache Faktoren dazu mitspielen, darunter könnte die Achsendrehung der Erde doch der wichtigste sein, während die anderen wie z. B. die verschiedene Temperatur der Luftschichten und die Verdunstung der grossen Wassermassen, die unseren Planeten bedecken, mit dazu beitragen würden.

Dass athmosphärische Einflüsse auf unseren Organismus eine nicht kleine Wirkung ausüben, erscheint uns klar und deutlich aus den Angaben nervöser Personen, welche, mit einer feineren Allgemeinempfindlichkeit versehen, als die normalen Menschen, sehr oft einen Witterungswechsel, einen Schneefall, ein Gewitter vorausfühlen können, bevor noch unsere gewöhnlichen Messinstrumente dies imstande sind. Diesbezüglich habe ich immer zwei äusserst deutlich ausgeprägte Fälle vor Augen, die ich hier in Neapel in den ersten Jahren meines Aufenthaltes zu beobachten Gelegenheit hatte. Der eine war ein Prediger, dem Franziskanerorden angehörig, von hoher Bildung und feiner geistiger Begabung, aber zugleich von ausserordentlich nervösem Temperamente. Ich behandelte ihn wegen einer Hemiplegie kapsularen Ursprungs nach Hirnblutung und besuchte ihn alltäglich über ein Jahr lang. Nun gab er mir manchmal bei vollständig heiterem Himmel an, dass nach seinen inneren Gefühlen am nächsten Tage ein Witterungswechsel eintreten werde, und was mich noch mehr in Staunen setzte, speziell welche Veränderung eintreten werde, ob Regen, Schnee, Schwüle u. s. f. Da ich dies zuerst für einfachen Zufall hielt, fing ich an, dessen Angaben am Barometer zu kontrollieren, und fand dadurch, dass er gewöhnlich die körperliche Vorahnung besass, bevor der athmosphärische Druck sich modifiziert hatte.

Übrigens ist die grössere Empfindlichkeit der tierischen Organismen gegenüber den Messinstrumenten auch aufgefallen gelegentlich der Erdbeben und der Ausbrüche der feuerspeienden Berge: als die Versuchsstationen des Vesuvs und des Epomäus die Bewegungen des Sismographen meldeten, hatten die Haustiere längst die Fesseln zerrissen und liefen bestürzt durch die Strassen.

Der zweite der eben zitierten Fälle war noch wichtiger als der erste, weil die Vorahnung, dass es schneien wird, von einer objektiv sichtbaren Erscheinung begleitet war: die Dame, eine sehr nervöse, in mystischen Gedanken vertiefte und mit absonderlichen Gepflogenheiten lebende Russin, bekam 10 bis 12 Stunden vor jedem Schneefall ausgiebiges Nasenbluten, was bei ihr sonst nie vorkam. Ich selbst hatte Gelegenheit, dies zweimal zu beobachten in einem für diese Klimata sehr strengen Winter, da sonst in Neapel das Schneien gar nicht die Regel ist, und kann deshalb ihre Angaben nicht in Abrede stellen.

Aber auch ohne sehr nervös zu sein, kann man doch an sich selbst ein grosses Wohlempfinden beobachten nach den kräftigen Elektrizitätsentladungen, die die Frühjahrs- und Sommergewitter erzeugen oder begleiten: und je dichter der Hagel niederprasselte, je grösser die Zahl der Blitze und Donner war, desto deutlicher ist das Beruhigungsgefühl, desto kräftiger die Atmung und desto frischer das Gemüt nachher. Ich will zwar nicht mit absoluter Sicherheit behaupten, dass wir dies lediglich dem verschiedenen Elektrizitätsgehalte der Luft verdanken, jedenfalls aber spielt die Elektrizität dabei eine wichtige Rolle.

Der erste, der davon eine Ahnung hatte, war der Abbé Bertholon[1]), der hervorhebt, wie Milton „nur in der Zeit zwischen der Herbst- und Frühlingsnachtgleiche Milton war", und diese Wirkung der verschiedenen Elektrizitätsmenge in der Luft zuschreibt.

Briand[2]) legt soviel Gewicht der atmosphärischen Elektrizität bei, dass er es für eine wunderbare göttliche Vorsehung hält, dass im Winter deren Luftsättigung die grosse Ziffer von 605 erreicht, im Vergleich zur Sommerziffer von 47, und somit den lebenden Organismen jene Energie beibringt, welche uns wegen der geringeren Stärke der Sonnenstrahlen mangeln würde. Falls die Ziffern stimmen, könnten wir statt solcher veralteter teleologischer Erklärung (sie rührt von vor 50 Jahren her) in ihnen eine Bestätigung finden für die mechanische Theorie des Lichtes und der Elektrizität und der physikalischen Ähnlichkeit dieser Erscheinungen. Im Winter, wo die siderische lebendige Kraft, welche von der Sonne her unseren Planeten beeinflusst, in einer so schiefen Richtung herreicht, dass sie die ätherischen Wellen nicht alle zu Lichtschwingungen bringen kann, entsteht statt deren ihr minderwertiges Surrogat, die langsameren elektrischen Wellen.

Ein französischer Militärarzt Emm. Pallas[3]) hatte während seines Kolonialdienstes in Algerien Gelegenheit gehabt, heftigen Gewittern beizuwohnen und war zur Überzeugung gelangt, dass „in derselben Weise wie die Leistung metallischer Spitzen in den Blitzableitern ohne Lärm und Lichterscheinungen die Gefahren der Unwetter zerstreut, ebenso die Isolierung (im elektrischen Sinne aufgefasst) uns von den Krankheiten vorenthalten und die Wirkung der grossen elektrischen Ströme, welche in der Atmosphäre auf der Erdoberfläche und im Zentrum derselben

---

[1]) Bertholon, De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie. 1780. 2. B.

[2]) Briand, L'électricité appliquée au traitement curatif des neuralgies etc. et des affections morbides souvent reputées incurables. Paris 1855 (pag. 15).

[3]) Emm. Pallas, De l'influence de l'électricité athmosphérique et terrestre sur l'organisme. Paris 1847.

entstehen, modifizieren und schwächen soll."[1]) Im Garnisonsspitale zu Oran richtete er seine Aufmerksamkeit besonders auf die epidemischen Fieber, welche jene sumpfigen Gegenden plagten und auf die Dysenterie, welche in jener Besatzung endemisch wütete. Es wäre zwecklos, die phantastischen Erklärungen der Sümpfe, die der Autor, indem er sie mit nassen elektrischen Elementen vergleicht, gibt, ergründen und über die elektrische Theorie des Miasma weitere Worte verlieren zu wollen: die Tatsachen, die Pallas berichtet, scheinen mir interessant genug, um sie hier zu wiederholen. Er beobachtete an den Kranken, welche er in einem Bette mit isolierenden Glasfüssen Tag und Nacht liegen liess, eine bedeutende und rasche Besserung des Allgemeinbefindens. Es waren meistenteils Kranke mit chronischer Dysenterie in vorgeschrittenen Stadien, welche sofort nach der Isolierung Veränderung des Pulses zeigten, indem dieser von 105 und 95 Schlägen auf 80—76—70 Schläge sank. Der Kranke erhielt Widerstandsfähigkeit, und die Behandlung, welche ohne Isolierung scheiterte, hatte in den Fällen, die den elektrischen Einflüssen entzogen waren, die gewollte Wirkung und die Krankheitsdauer wurde dadurch sehr verkürzt.

Pallas machte auch Versuche auf Nervenstörungen. Es gelang ihm, Stunde und Form von Krampfanfällen, die er epileptisch nennt, zu modifizieren — wahrscheinlich hat es sich um männliche Hysterie gehandelt. Bei einem Fall hebt Pallas hervor, und das ist interessant genug um hier notiert zu werden, dass feuchte und schwüle Luft die Isolierung misslingen liess, da die elektrische Leitung ihren Weg durch die Luftfeuchtigkeit fand. Bei einem hypochondrischen Kranken, dessen Schlaflosigkeit auf dem Glasbette sofort aufhörte, frägt sich Pallas bescheiden, ob vielleicht „si c'est l'idée" diesen Erfolg hatte.

Diese Versuche fanden zuerst auch in den Staatsbehörden eine grosse Stütze — der Autor hatte ja theoretisch bewiesen, dass hierdurch die endemischen Fieber ausgerottet werden — gingen aber, da die positiven Resultate den Hoffnungen nicht entsprachen, nicht weiter.

Wie sich Jemand fand, der unseren Körper durch Isolierung von der atmosphärischen Elektrizität schützen wollte, so hat man auch Jemanden gefunden, der unsere eigene Elektrizität durch Isolation festhalten wollte. Dieser ist d'Odiardi, derzeit Professor of Electricity in the Hospital in the West of London.[2]) Volle 50 Jahre hindurch ununter-

---

[1]) l. c. pag. 204.

[2]) Die hier folgenden Nachrichten habe ich nicht aus medizinischen Fachschriften, sondern aus einer belletristischen Zeitung, in welcher der betreffende Herr Professor in einer sehr reklamehaften Weise gepriesen wird.

brochenes Experimentieren führten ihn zu der Auffassung, dass Millionen und Millionen Zellen, welche in der Lunge, in der Leber und in allen anderen Körperteilen zusammengehalten sind, Elektrizität produzieren, welche als elektro-motive power in unserem Gehirn aufgeladen wird. Alle Krankheiten und besonders die Nervenkrankheiten sind dadurch bedingt, dass die Lebenskraft, welche nichts anderes ist als ein anderer Name des eben genannten electrical-power, entweder in ungenügender Menge produziert wird oder sich zu rasch verflüchtigt. Er hat auch ein kleines Instrument konstruiert, wodurch er beweisen will, dass unser Atem fortwährend Elektrizität abgibt; durch dasselbe untersucht er auch alle Lebensverhältnisse, welche uns die wertvolle Lebenskraft entziehen. Schwüle Klimata sind eben dadurch sehr schädlich. Da nach seiner Auffassung der grösste Vorrat an elektrischer Kraft im Hirne und Rückenmarke ist, so genügt, dass wir mit dem Rücken gegen ein Fenster sitzen, damit wir elektrisch ausgezogen werden. Dasselbe leisten metallische Massen wie eiserne Öfen u. s. f. Unlängst untersuchte er die Lokale eines Richterstuhls und fand, dass der Elektrizitätsverlust enorm war und alle Beamten daselbst subnormale Temperaturen hatten und schwachen nicht über 60 Schläge erreichbaren Puls; das hing von einer eisernen Schneckenstiege ab, welche das ganze Gebäude im Zentrum durchsetzte. Zum Bewahren der Gesundheit soll man, nach d'Odiardi, alle Wände, Fussböden, Zimmerdecken mit einer Glasschmelze bedecken, worauf man erst die Papiertapeten fixieren soll. Man soll ausserdem achten, sich so wenig als möglich mit dem Rücken und Kopfe gegen Fenster und eiserne Öfen zu wenden. Wenn aber jemand durch Unwissenheit oder andere Umstände schon krank geworden ist, so kann man den Verlust wieder gut machen durch Laden mittelst statischer Elektrizität.

Die Applikation der statischen Elektrizität zum Zwecke der Heilwirkung wurde zwar schon früh und oft versucht, aber sehr oft wieder aufgegeben. Nur in den letzten Jahrzehnten hat sie sich eine sichere Stellung in den Händen der bewährten Neuropathologen erlangt und wird schwerlich wieder entthront werden können. Die Vervollkommnung der Nachforschungen über elektrische Wellen und ihre Fortpflanzung durch die Luft ohne leitende Körper zu bedürfen, führt uns immer mehr zu dieser ersten Elektrizitätsquelle zurück, welche lange Zeit hindurch durch den Aufschwung des sogenannten Stromes vernachlässigt wurde, weil wir diesen besser bewältigen, genauer messen und sicherer eindämmen konnten, sodass er sich leichter unseren therapeutischen Wünschen fügte. Das verdanken wir aber auch zum grossen Teil der Verbesserung der Elektrisiermaschinen, von welchen man getrost sagen kann, dass sie einen hohen Grad von Vorzüglichkeit erreicht haben.

Die ersten Maschinen beruhten auf der blossen Reibung, wodurch einzig und allein die Elektrizität hervorgerufen wurde. Otto v. Guericke liess eine Schwefelkugel um eine eiserne Achse drehen, während ein Gehilfe die Handflächen daran hielt. Das gab sehr geringe Elektrizitätsmengen und die Ladung musste baldigst wieder vorgenommen werden.

Winter in Deutschland und Nairne in Frankreich setzten an Stelle der Hände lederne Reibkissen (R), welche, auf Glasfüssen isoliert, befestigt und um die Reibung zu erhöhen mit Zinkamalgampasta beschmiert waren. Der erste bediente sich einer runden Glasscheibe (Fig. 4), der zweite

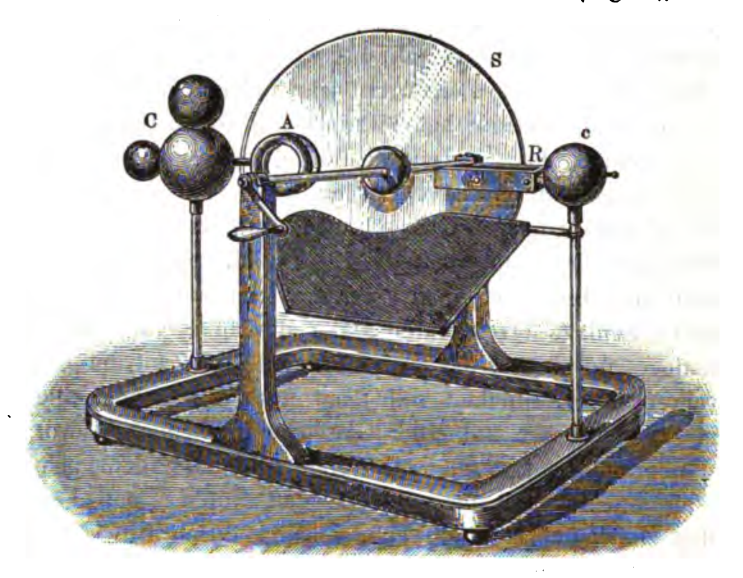


Fig. 4.

eines hohlen Glaszylinders (Fig. 5), welche um eine gläserne Achse mittels einer Kurbel drehbar waren. An der freien Seite des elektrisierten Glases stand ebenfalls auf isolierendem Glasfusse und mit einer Metallkugel, dem Kollektor (C) vereinigt, der Aufsauger (A), bei der Winter'schen Maschine in Form zweier mit Stanniol bedeckten Holzreifen, auf deren inneren Seite Metallspitzen befestigt sind; in dem französischen Modell in Form eines hohlen Kupferzylinders (C), an welchen freie Spitzen der Reihe nach befestigt sind, woher der Name peigne (Kamm), welcher diesem Maschinenteile geblieben ist. Durch diese Anordnung konnte man nicht nur grössere Elektrizitätsmengen ohne Unterbrechung hervorbringen, sondern auch diejenige Elektrizität, welche durch Reiben am Kissen entstand und welche der negativen Ladung entsprach, an einem zweiten mit ihm

kommunizierenden Kollektor (C) ansammeln, und so verfügte man zu gleicher Zeit über die beiden entgegengesetzten Fluida.

Van Marum baute auf demselben Prinzipe eine grosse Maschine mit zwei Scheiben und acht Kissen und konnte damit federkieldicke und 60 cm lange Funken hervorrufen; sie erwies sich aber als nicht praktisch und deswegen kam er zu einer einzigen Scheibe zurück, machte aber die kammartigen Aufsauger so geformt und beweglich, dass sie entweder der freien Glasscheibe oder dem Kissen gegenüber gestellt werden konnten.

Ramsden stellte an einer ebenso kreisförmigen Glasscheibe zwei

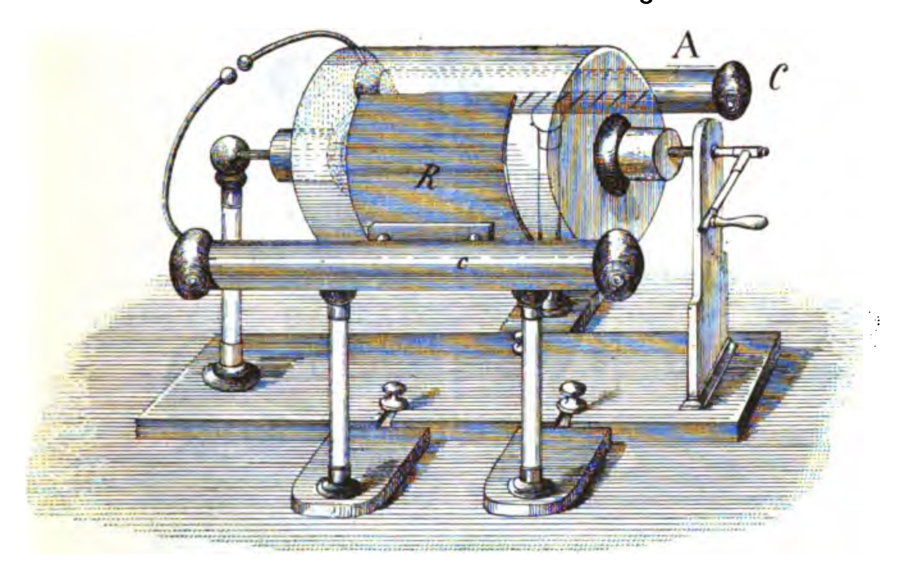


Fig. 5.

Reibkissen oben und unten, und an beiden seitlichen Teilen je einen Aufsauger; es ist im Grunde genommen die Idee der zweiten, eben beschriebenen Maschine, nur dass die seinige durch die Form der Aufsauger, die je aus einem Doppelkamm bestanden, einer grösseren Ladung fähig war und hierdurch die früheren um ein geringes Etwas überflügelte. Im Prinzip und an Wirkung ähnlich, nur in Form und Grösse etwas verschieden, ist die Reibungsmaschine von Arthuis, welche sich einen Ruf erworben hat, weil dieser Autor zu einer Zeit, wo Niemand etwas vom therapeutischen Gebrauche der Franklinisation mehr wissen wollte, ihr wieder eine wissenschaftliche Grundlage schuf, aber als spezielle Maschine sich keine Gunst zu erwerben wusste. Nach ihrem Erfinder soll ihre hervorragendste Eigenschaft darin bestehen, dass ihre Scheibe aus altem Spiegelglase geschnitten ist.

Der wahre Fortschritt der Kenntnisse über die statische Elektrizität beginnt mit der Errungenschaft, sie, statt mittelst der Reibung, durch Beeinflussung hervorrufen zu können. Der Begriff der Influenz existierte schon seit den oben beschriebenen Experimenten des Voltaschen elektrischen Kuchens (Elektrophor). Der Verdienst, sie zu einer systematischen und fortdauernden Produktion dieses physikalischen Agens ausgenützt zu haben, gebührt Holtz, dessen Maschine (Fig. 6) einerseits ein obligatorisches Stück aller physikalischen Kabinette bildet, andrerseits in etwas vollkommener Form teilweise noch im Instrumentarium des Elektrotherapeuten zu treffen ist. Sie besteht aus zwei gefirnissten Scheiben von dünnem Fensterglase,

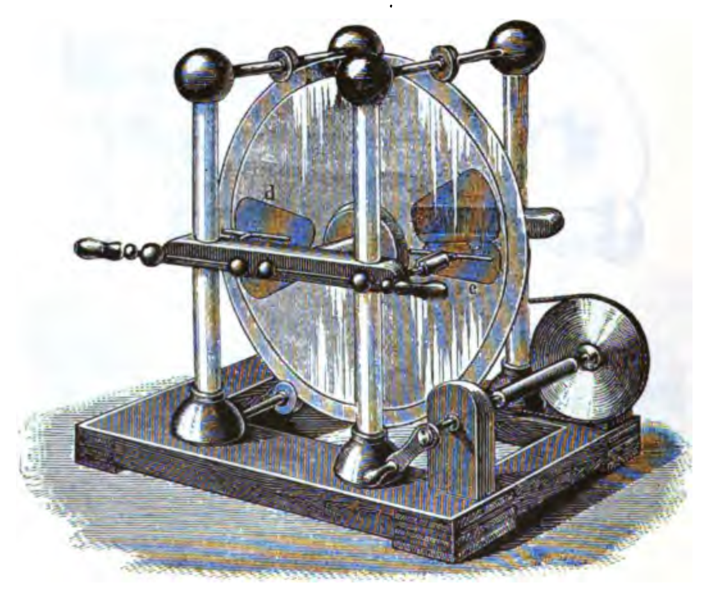


Fig. 6.

die einen geringen, aber überall gleichen Abstand von einander haben und um ein Geringes an Grösse unterschieden sind. Die kleinere ist um eine Achse von Ebonit mittels einer mit einem Seilwerke kommunizierenden Kurbel rasch drehbar, die grössere ist isoliert befestigt und hat drei rundliche Fenster, von denen das eine in der Mitte das Durchgehen der eben genannten Ebonitachse gestattet, während die zwei anderen an beiden Seiten diametral entgegenstehen. Auf der von der kleineren Scheibe abgewandten Seite der grösseren Scheibe und zwar neben den Randöffnungen sind Papierstreifen aufgeklebt, von denen je ein zugespitzter Streifen von Kartenpapier etwa bis zur Mitte der Öffnung geht und der beweglichen Scheibe zugewandt ist, diesen gegenüber auf der anderen Seite der

beweglichen Scheibe stehen zwei isolierte kammförmige Metallkonduktoren, die mit Messingkugeln zusammenhängen. Letztere können mittels Messingdrähten, die ihrerseits wieder in Kugeln enden, mit einander in Verbindung gesetzt oder durch Zurückziehen derselben entfernt gehalten werden. Diese beweglichen Stäbe werden Elektroden genannt.

Zum Funktionieren der Maschine muss einer der Papierbeläge von aussen etwa mit einem zuvor geriebenen Glasstabe geladen und dann sofort, bei sich berührenden Elektroden, die Scheibe in Gang gesetzt werden. Dadurch wird der andere Papierbelag auch elektrisch und durch langsames Entfernen der Elektroden kann man die Ladung auf den Konduktoren sammeln und Funken zwischen den Elektroden überspringen sehen; zu rasches oder zu weites Entfernen der sogenannten Schlagweite entladet die Maschine.

Die offizielle Erklärung besteht darin, dass künstlich elektrisierte Papierstreifen durch Influenz eine Zweiteilung der Elektrizitätsqualitäten in den Kämmen hervorrufen, wovon die eine vom erzeugenden Apparate neutralisiert wird, die andere auf den Konduktor übergeht. Beiliegendes Bild (Fig. 7) soll das Funktionieren derselben veranschaulichen. Wir werden später, gelegentlich einer anderen Maschine, sehen, dass diese Vorstellung Phantasieprodukt ist und den experimentellen Prüfungen gar nicht stand hält.

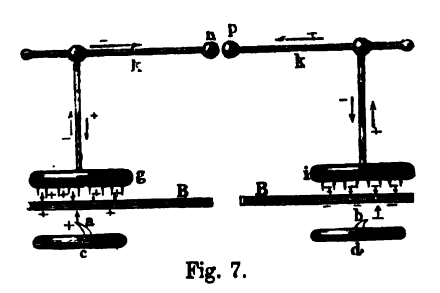


Fig. 7.

Auch die Holtzsche Maschine hat ihre Verbesserer gefunden. Vor allen durch Carré, der sie durch Hinzufügen einer Winterschen Reibscheibe selbstladungsfähig machte, zu gleicher Zeit sie aber auch fast monströs gestaltete, wodurch sie keinen Anklang fand.

Da solche Maschinen durch eine kleine Ladung in Gang gesetzt werden, muss ihre Instandhaltung sehr genau und mit grosser Pflege gehandhabt werden. Es genügt im allgemeinen ein gewisser Grad Feuchtigkeit in der Luft, um ihre Ausbeute so zu erniedrigen, dass sie zu therapeutischen Zwecken fast nutzlos werden. Um sie davor zu schützen, werden sie in Glaskästen eingesperrt, aus welchen nur die Drehkurbel und die Elektrodengriffe herausragen. So gestaltet ist die nach Eulenburgs Angabe von Hirschmann konstruierte Maschine für elektrotherapeutische Kabinette, an welcher auch Kondensatoren in der Form von Franklinschen Platten angebracht sind.

Die Maschine, welche von atmosphärischen Einflüssen unabhängiger ist und durch ihre grosse Leistungsfähigkeit vor anderen die Oberhand gewann, ist die Wimshurstsche, welche vom Konstrukteur Bonetti noch zweifache Modifikationen erfahren hat. (Fig. 8 und 9). Nach dieser trachteten

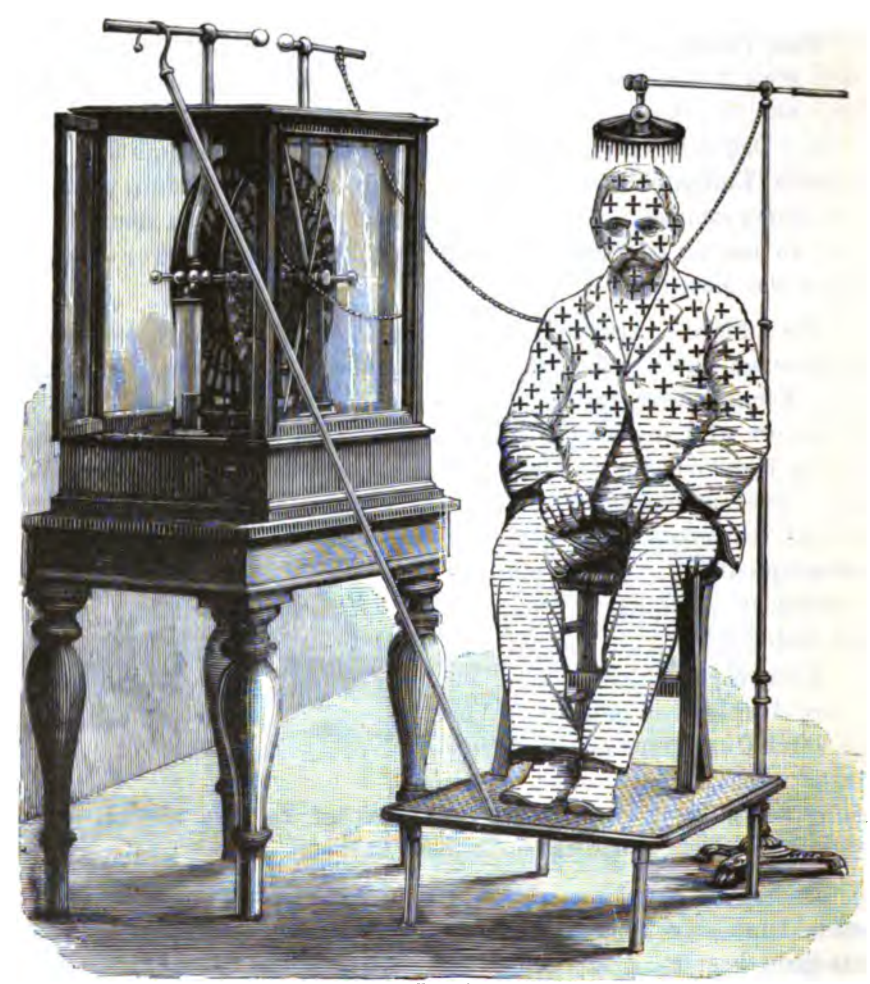


Fig. 8.

Vigouroux in Paris und Lewandowsky in Wien, denselben Prinzipien folgend, zwei andere Typen, in welchen die Scheiben in hohle Zylinder umgewandelt sind, ausführen zu lassen, die zwar als Modelle bei irgend welcher Ausstellung figurierten, aber so viel ich weiss entweder gar nicht in den Handel kamen oder wenigstens keinen Absatz fanden. Es steht

mir von keinem bekannten Autor fest, dass er damit irgend welche Studien oder Behandlungen ausgeführt hätte, und auch in den nachherigen Ausstellungen sind sie nimmer zu treffen, ebenso nicht in den Fabrikskatalogen, in welchen die Holtzsche teilweise und die Wimshurstsche grösstenteils zu finden sind. Nur hat Bonetti in letzter Zeit wieder gelegentlich der Abschaffung der Metallsektoren die Substituierung der Scheiben durch Ebonitzylinder vorgeschlagen, worüber wir später sprechen werden.

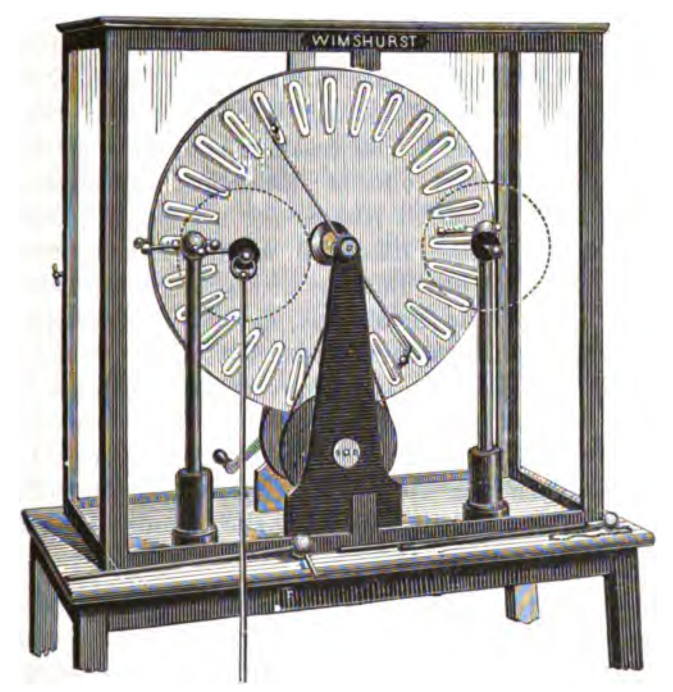


Fig. 9.

Die Wimshurstsche Maschine (Fig. 9) besteht aus zwei gefirnissten runden Glasscheiben (die erste Modifikation Bonettis besteht darin, dass er sie mit zwei gleichgrossen Ebonitscheiben ersetzt hat, Fig. 8), auf dessen äusseren Flächen etwa überfingergrosse Stanniolblätter aufgeleimt sind in einer Anordnung wie die Stundenziffern auf dem Zifferblatte einer Uhr, nur dass deren Zahl grösser ist, ungefähr fünfzig, je nach dem Durchmesser der Scheibe etwas mehr oder weniger.

Die Scheiben sind um eine Achse leicht drehbar auf einem doppelten Holzfusse montiert und durch eine Riementransmission so mit einem Kurbelsystem vereinigt, dass sie entgegengesetzt rotieren und zwar so,

dass die vordere (A) von links nach rechts wie ein Uhrzeiger, die hintere (B) von rechts nach links in gleichem Tempo sich dreht. Auf derselben Achse fixiert, stecken zwei metallene Stäbe (C und C'), die mit einander ein Andreaskreuz machen würden, falls wir uns die zwischen ihnen stehenden Glasscheiben entfernt dächten; diese Stäbe, Diametralkonduktoren genannt, endigen in zwei Silberfadenbürsten, die beim Drehen der Scheiben auf die Stanniolblätter streifen: der vordere Stab (C) geht von links oben nach rechts unten (wenn wir den Vergleich mit dem Ziffernblatte fortsetzen von der Stelle der XI-Uhr-Ziffer zu derjenigen der V-Uhr-Ziffer; der hintere (C' auf dem Bilde nicht sichtbar) von rechts oben (I-Uhr-Ziffer) nach links unten (VII-Uhr-Ziffer). Nun stehen an beiden Seiten der Scheiben auf einer isolierenden Stütze befestigt die zwei Doppelkämme M und N. Sie bestehen aus kleinen Metallzylindern, die in Form eines seitwärts offenen Rechteckes zusammengestellt die Scheiben umklammern und deren innere Seite mit vielen Spitzen versehen sind. Diese Kollektorkämme (fälschlich auch Kondensatoren genannt) können entweder, wie auf dem Bilde, mit zwei Elektrodenstangen in Verbindung stehen oder in eine Metallkugel, die auf einem gläsernen Fusse steckt, endigen, in welch' letzterem Falle die Stütze P mangelt; diese Anordnung ist für die grösseren Modelle vorgezogen, während bei kleinen Maschinen das Anlegen einer Leydener Flasche als Regel gilt. Französische Fabriken pflegen nach dem Vorschlage von Vigouroux die Maschine mit Scheiben von 70 cm an ohne Kondensatorenflaschen zu liefern; während diese bei ganz kleinen fest sind, werden sie bei mittleren beweglich aufgehängt.

Das sind die wesentlichen Teile der Wimshurstschen Maschine. Sie ladet sich von selbst. Es genügt, falls sie sich in reinem und trocknem Zustande befindet, einigemale die Scheiben mittels der Kurbel mit einer gewissen Geschwindigkeit zu drehen, um ein fortwährendes Knistern zu hören, welches von Ozongeruch begleitet ist: falls man einen Finger oder einen Metallstab den Kollektoren nähert, springen kräftige Funken heraus.

Vigouroux[1]) erläutert die Leistung der Maschine mit folgenden Worten: „Figur 10 repräsentiert die zwei Scheiben des Apparates; es handelt sich darum, zu wissen, wie die erste Ladung entsteht, denn hat man dieselbe erhalten, so folgt alles übrige von selbst. Um die Sache zu vereinfachen, betrachten wir auf der oberen Hälfte der Scheibe einen einzigen Stanniolstreifen (s) (un seul secteur); wie dieser, da er aus

---

[1]) Notice illustrée sur les machines électrostatiques de Wimshurst. Paris. Bonetti éditeur. Seite 9.

Zinn besteht, mit der kupfernen (oder silbernen) Bürste (b') in Berührung kommt, so entsteht eine elektromotorische Kraft, eine Kontaktspannung zwischen denselben. Das Zinn wird positiv elektrisiert und wie es sich von der Bürste entfernt, bewahrt es die Ladung, da es isoliert ist. Die Drehung der Scheibe bringt nun den Secteur zwischen den Ästen des entfernteren Kammes. In diesem Augenblicke befindet sich der Secteur unter denselben Bedingungen, als ob er eingeschlossen wäre, in einem Konduktor, den er berührte, und deswegen verliert er seine positive Ladung, welche an die äussere Oberfläche des Metallkammes (K_1) übergeht. In diesem Gange (von K_2 zu K_1) geht der positiv geladene Secteur (s) an der auf der anderen Seite der Scheibe befindlichen Bürste b'' vorbei und induziert auf dem darunter befindlichen Secteur der zweiten Scheibe eine negative Ladung, welche, wegen der umgekehrten Drehung der Scheibe auf K_2, sich sammelt. Nehmen wir unseren Secteur (s) wieder auf in dem Augenblick, wie er den positiven Kamm (K_1) verlässt: er befindet sich im neutralen Zustande, aber die Ladung des Kammes trennt durch Influenz seine Elektrizität, so dass er negativ an der dem Kamme näheren Seite und positiv an der anderen wird. Seine Berührung mit der Bürste (b''), welche nicht isoliert ist, lässt diese Verteilung verschwinden; nachdem er sie übergangen hat, ist er nur negativ elektrisch geworden und gibt seine Ladung dem Kamme K_2 ab: dadurch entladet, wird er von demselben wie oben influenziert, nur im gegenteiligen Sinne, begegnet wieder der ersten Bürste und der Turnus geht von Neuem an."

Als ich mich mit dieser Elektrisiermaschine zu beschäftigen anfing und mich von den schönen Lichterscheinungen, die dieselbe im Dunklen gab, angezogen fühlte, bemerkte ich hierbei, dass beim Drehen im umgekehrten Sinne sich dieselbe ebensogut lud, nur dass das reichliche Feuersprühen auf den Flächen zwischen b' und b'', respektive zwischen b''' und b'''' auf beiden Scheiben entstand, somit die Ladung ganz unabhängig von den Kondensatorkämmen stattfand: dass überhaupt auch beim normalen Drehen die Kreisfläche b''—b''' mit einer Art Elektrizität beladen war und nicht, wie nach Vigourouxscher Auffassung, das Einlegen des Kammes die obere Hälfte positiv und die untere negativ lud. Somit konnte eine Theorie, welche zur Erklärung das Mitwirken der Kämme benötigte, nicht richtig sein. Ich demontierte auch dieselben ganz und konnte alle Phänomene fort und fort hervorrufen; nur in etwas schwächerer Form, weil eben keine Kollektoren die entstandene Elektrizität aufnahmen. Auch bemerkte ich hierbei, dass gerade die Zonen, die nach der oben angeführten Erklärung stark geladen sein sollten, beim normalen Drehen der Sektoren gar nicht leuchten.

Da unterzog ich die Maschine mehreren Versuchen, um Klarheit in dem Funktionieren derselben zu erlangen. Vor allem müsste dieselbe funktionieren, wenn bei regelrechter Lage aller Teile nur eine Scheibe sich dreht, mit der Hälfte Ladung zwar, aber doch deutlich genug, um Elektrizität zu produzieren: ich experimentierte es (es ist leicht, einen Treibriemen abzunehmen) und es entstand absolut keine sichtbare oder messbare Spur von Elektrizität.

Ein anderer Punkt, der für mich etwas rätselhaftes in sich enthielt, war die Umkehrung der Pole. An manchen Tagen fand sich die positive Elektrizität am Kamme K_1, ein anderes Mal am Kamme K_2, ohne dass ich eine absolute Änderung in der Funktion der Maschine bemerken konnte. (Ich muss hier aufmerksam machen, dass meine erste Maschine ein Modell mit fixen Leydener Flaschen war, weil das ein Umstand ist, welcher das Überspringen der Pole begünstigt.) Ich konnte sie auch künstlich umändern dadurch, dass ich die Maschine für eine kurze Weile im umgekehrten Sinne drehte, dabei die Kollektoren durch Berühren vollkommen entlud und hierauf wieder die Scheiben in ihre normale Bewegung setzte. Falls die Ladung nur auf Kontakt-Spannung beruhte und die positive Ladung am Kamme K_1 deswegen entstand, weil Zinn dem Silber gegenüber elektropositiv ist, konnte beim Negativwerden desselben Kammes das fundamentale Voltasche Gesetz vielleicht augenblicklich bei uns unbekannter Ursache aufgehoben sein? Das wäre ganz so, als ob wir plötzlich beim Arbeiten mit einem Daniellschen Elemente bemerken würden, dass der Zinkpol positiven Strom gäbe! Falls wir das annähmen, müssten wir alle unsere elektrologischen Kenntnisse über Bord werfen! Das machte mich eine Zeitlang wild, und ich beschäftigte alle meine Mussestunden im Spielen mit der Maschine im verdunkelten Raume, um den verschiedenen Lichterscheinungen die Lösung des Rätsels abzugewinnen. Das geschah mit einem mittleren Bonettischen Modelle mit Ebonitscheiben. Die Entzifferung kam aber nicht in der Dunkelheit, sondern im vollen Lichte, nachdem ich den Abend vorher die Maschine mehr als sonst angestrengt hatte: ich bemerkte nämlich, dass eine der Ebonitscheiben stark mit Staub bedeckt war, während die andere ihren vollen Nubianglanz bewahrte. Nun tauchte mir die Idee auf, dass die Scheiben sich elektrisieren und ich konnte konstatieren, dass der Polwechsel parallel ging mit der Bestaubung der einen oder der anderen Platte! Ich versuchte nun während des Funktionierens der Maschine kleine Papierstückchen und leichten Vogelflaum gegen dieselbe zu schleudern und tatsächlich wurden diese nur von einer Scheibe angezogen, von der anderen gar nicht beeinflusst.

Nun hatte ich einen Schlüssel, um weitere Versuche anzustellen, in der Hand. Ich entfernte zuerst einer kleinen Maschine mit 45 cm Scheibendurchmesser, die ausser Gebrauch stand, da ich inzwischen eine vollkommenere mit 70 cm grossen Scheiben direkt vom Fabrikanten Bonetti hatte kommen lassen, die Stanniolblätter und substituierte dieselben mit Goldblattstreifen, machte mir auch mit Posamentiergold kleine Bürsten, sodass ich die Reibung zwischen gleichen Metallen bewirkte. Das Drehen der Maschine blieb vollkommen resultatlos. Hiernach rieb ich die eine Scheibe mit einem wollenen Tuche, während die Maschine in Rotation gehalten wurde und zwar so lange, bis der Geruch des elektrisierten Ebonites meine Aufmerksamkeit fesselte. Zu meiner grossen Befriedigung knirschten sofort die metallenen Teile der Maschine und an den Kämmen und zwischen den Bürsten traten die gewohnten Lichterscheinungen auf. Diese zeigten mir auch, auf welcher Seite der positive und auf welcher der negative Pol sich befand. Jetzt liess ich die Maschine kurze Zeit ruhen, berührte sie und entfernte Staub und Ladungsüberbleibsel mit einem leinenen Taschentuche und wiederholte den Versuch durch Reiben der anderen Scheibe. Und richtig, die Maschine lud sich in eben demselben Augenblicke, nur waren die Pole umgekehrt. Dadurch glaube ich bewiesen zu haben, dass die Ladung, welche die Maschine in Gang setzt und hält, nicht an den metallischen Belägen haftet, sondern an der Scheibe, welche bei gleichartigem Metalle direkt durch Reibung mit einem Wolltuche elektrisiert werden muss. Wozu sind denn eigentlich die Bürsten, falls wir diese Erklärung annehmen? Ein weiteres Experiment bestand darin, dieselben, während die Maschine tätig war, zu entfernen. Ich führte das aus, indem ich sie allmählich um die Diametralstäbe herumdrehte und bemerkte, dass ich sie ganz ausser Kontakt von der Scheibe bringen konnte, ohne dass das Entstehen und Strömen von Elektrizität aufhörte und zwar so lange, als die Bürste ihre Spitzen der Maschine zugewendet hatte; dass aber alle Erscheinungen sofort aufhörten, wie ich beim Drehen einen rechten Winkel überschritt und die Bürstenfäden von der Scheibe weggerichtet waren. Diese Proben musste ich an der grösseren Maschine ausführen, weil die obengenannte die Bürsten an den Stäben fix befestigt hatte und das Drehen nur in kleinem Umfange zuliess, während an jener vier Kugeln mit Bajonettverschluss die Bürsten umfangen hielten. Nun geschah es mir auch, dass einmal, während alles in vollem Gange war, die Idee einfiel, drei Bürsten am Platze zu lassen und die vierte vollkommen und plötzlich zu entfernen. Wie ich an die Kugeln griff, bekam ich einen Funken, trotzdem dieselben nicht isoliert sind; sie sind ja gerade mittelst der Metallstäbe

und dem Holzgestelle mit der Erde in Verbindung. Daraus ersah ich, dass die vier Bürsten Zentren starker elektrischer Spannung darstellen, die zwei links vom Zuschauer negativen, die zwei rechts positiven Potentiales (das gilt bei Ebonitscheiben, falls die hintere die künstlich elektrisierte ist). Sie sind aber zu je zweien mit einander in metallischer Verbindung, ohne dass dadurch die entgegengesetzten Ladungen zerstört werden; das bedeutet, dass sie während des Funktionierens der Maschine Elektromagneten werden. Die Ladungen selbst sind auf der Scheibe beweglich, aber im Raume fix, denn wie wir gesehen haben, bewahren die Stanniolblätter, wenn sie sich von der Bürste entfernen, auf den Flächen keine Spur von Elektrizität mehr: in den lateralen Räumen zwischen den Bürsten, und zwar auf beiden Seiten der Scheiben halten sich die Ladungen fest, sogar wenn die Reibung der Bürsten aufgehoben wird. Solche Verhältnisse finden wir nur in der Dynamomaschine: die Scheiben entsprechen dem Grammschen Ringe, die Stanniolblätter den aufgerollten Kupferdrahtspulen, und die Bürsten den Polen des Elektromagneten.

Bei der Influenzmaschine entsteht somit die Ladung im Raume zwischen den Bürsten. Wozu wären dann die Metallsektoren und noch dazu aus verschiedenem Metalle? Das hat den Zweck, dass die Maschine eine äussere künstliche Ladung nicht benötige. Durch den Kontakt der verschiedenen Metalle entsteht eine minimale Spur Elektrizität; die Bewegung der Scheibe vor dem leitenden Stabe führt das aus, was wir am Voltaschen Elektrophor mit dem Finger tun, entfernt nämlich die freie Elektrizität von dem Stanniolblatte und stärkt somit successive die kleine Ladung im darunterliegenden Ebonite (oder Glase). Falls eine einzige Scheibe da wäre, würde die freie Elektrizität fortwährend zu Boden geleitet werden und ein Funktionieren der Maschine würde unmöglich sein; es sind aber deren zwei. Die eine elektrisiert sich zufällig früher als die andere und hält dann durch Influenz die Spannung in der gegenüberliegenden Bürste fix: ich spreche von der Scheibe im ganzen, nicht von den Stanniolblättern, weil gerade an der Stelle, wo diese Influenzierung geschieht (bei Ladung der hinteren Scheibe die Zone b''b' — diese dreht sich nämlich im Sinne des Pfeiles B) die Stanniolblätter nicht geladen sind: dadurch kann möglich sein, dass die Bürste b' im Gegensatze mit dem Voltaschen Gesetze der Kontakte doch positiv influenziert werde (meine Erörterungen beziehen sich immer auf Ebonitscheiben, mit welchen ich experimentiert habe). Das höhere Potentiale in b' trennt die Elektrizität im Diametralstabe 1 und verursacht ein niedriges Potential in b'''. Das Stanniolblatt auf der hinteren Scheibe, welches durch den Kontakt positiv geladen ist, kann gegenüber der viel

stärkeren positiven Spannung der Bürste b' keine Influenz üben und gibt ganz direkt die eigene Ladung der Bürste b'''', wodurch die Zange der Elektromagneten fertig gestellt wird.

Ich hatte schon durch das Variieren der Metalle und die beschriebenen Experimente das Funktionieren der Maschine für mein Verständnis klargestellt, als Bonetti eine Modifikation seiner Maschine einführte, die meiner Theorie vollkommen Recht gibt. Er schaffte die Metallbeläge ab und erweiterte die Pole der Elektromagnete dadurch, dass er an jedem Ende der Metallstäbe drei Bürsten statt einer befestigte, wie das aus Fig. 10 zu ersehen ist. Die Maschine funktioniert ebensogut wie die mit den Metallbelägen, auch hier ist nicht notwendig, dass die Enden der Bürsten auf der Scheibe streifen, es genügt, dass dieselben in Entfernung von einigen Millimetern ihnen gegenüberstehen: nur ist diese Maschine nicht fähig, durch einfaches Drehen in Gang gesetzt zu werden, sie muss zuerst geladen sein. Das geschieht aber sehr leicht: es ist nicht notwendig, wie bei der Holtzschen zu einer äusseren Quelle zu greifen; es genügt, während des Drehens eine Scheibe an der Fingerbeere reiben zu lassen und, falls das nicht sofort gelingt, kann man den Finger mit Musivgold (Schwefelzinnstaub) ein wenig beschmutzen. Man kann dabei mit der grössten Regelmässigkeit die Pole verändern, indem man die hintere oder die vordere Scheibe reibt. Der passendste Punkt für das Anlegen des Fingers ist die einer Bürste gegenüberliegende Stelle. Falls ich die hintere Scheibe im oberen Quadranten reibe, so bekomme ich den positiven Pol links vom Zuschauer; falls ich den unteren Quadranten reibe, so ist der positive Pol rechts.

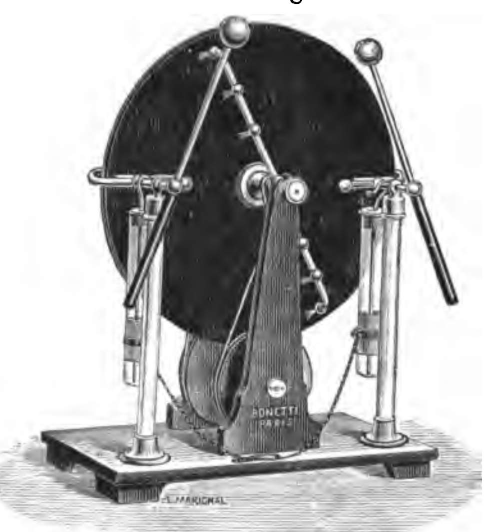


Fig. 10.

Ein anderes Argument, welches für die Analogie der Wimshurstschen Maschine mit der Dynamo spricht, ist, dass wir mit der mechanischen Bewegung sowohl Elektrizität produzieren, als auch mit der Elektrizität Motoren in Bewegung setzen können. Falls wir zwei Influenzmaschinen mittels ihrer Kollektoren in Verbindung setzen, an einer derselben die

Treibriemen abnehmen und die Bürsten leicht entfernen, um die Reibungshindernisse möglichst zu vermindern und nachher die andere in Gang setzen, so laden sich die Kollektoren der ersteren mit den entgegengesetzten Strömungen, welche auf die Scheiben herausfliessen. Falls wir nun mit der Hand die beiden Scheiben eine einzige volle Umdrehung im umgekehrten Sinne ausführen lassen, so setzen sie sich in konstante Bewegung und drehen synchronisch mit der anderen Maschine ohne Unterbrechung fort. Ich erinnere daran, dass vor der Erfindung von Galileo Ferraris, die Drehung des magnetischen Feldes betr., dieselben Schwierigkeiten auch für die Transmission der motorischen Kraft in den Wechselstrommaschinen bestanden.

In ziemlich ähnlicher Weise erklärten das Funktionieren der Maschine Truchot, in den Archives d'électricité médicale vom Jahre 1898, N. Schaffers in Löwen[1]) und S. Leduc in Nantes[2]). Truchot hebt besonders hervor, dass die positive Ladung einer Bürste in einem Diametralkonduktor am entgegengesetzten Ende desselben eine negative Ladung hervorbringe; die beiden letzteren Autoren besprechen die Maschine ohne Kondensatoren und Kämmen, welche sie auch für die Erklärung derselben ganz überflüssig finden. Die initiale Ladung hängt nach Schaffers von der Reibung zwischen Bürsten und Metallbelägen. Je grösser die Zahl dieser letzteren ist, desto rascher beginnt die Maschine zu funktionieren.

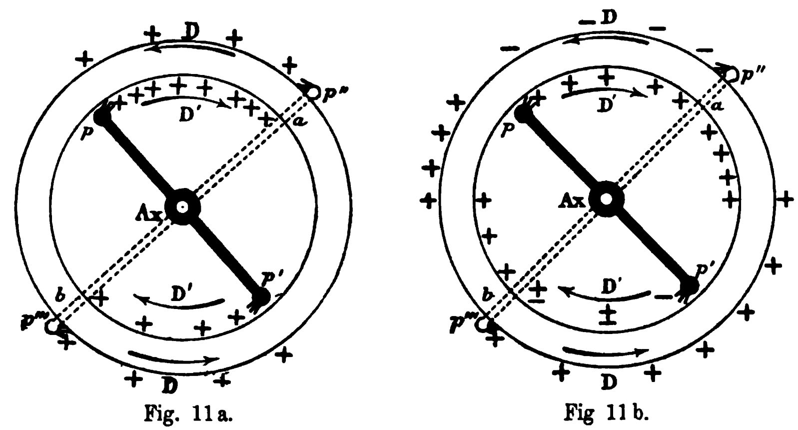


Fig. 11 a. Fig 11 b.

Nach diesem Prinzipe betrachten wir die schematische Figur No. 11 a. Die 4 Bürsten hätten bei der Reibung eine Kontaktelektrizität negativen Zeichens hervorgerufen und da sie nicht isoliert sind, alle vier das gleiche Zeichen aufbewahrt. Durch Induktion würden nun alle zwei Scheiben

[1]) Essai sur la théorie des machines électriques à influence 1898.
[2]) Congrès de Nantes 1898.

positiv elektrisch. Da aber die absolute Symmetrie niemals erreicht werden kann, so würde die Ladung auf Bürste p z. B. (Fig. 11a) stärker sein. Dadurch entstehen nun drei Phasen. Die erste Phase: Die Scheiben sind positiv elektrisch, die stärkere Ladung ist aber auf der Fläche pa. Nachdem sich die Scheibe um 90° gedreht, kommen die positiven Ladungen gegenüber der Bürste der zweiten Scheibe und influenzieren dieselbe. Zweite Phase: Da die positive Ladung in a stärker ist als die auf p'' durch Reiben entstandene Elektrizität, so werden hier die Zeichen derselben durch Influenz umgewendet. Andererseits gibt der Metallstab $p''p'''$ dadurch, dass er am Punkte p'' künstlich negativ elektrisiert wird, die daraus resultierende positive Elektrizität dem anderen Ende p''' ab. Diese positive Strahlung kräftigt noch die positive Ladung, welche p''' durch Berührung von der Scheibe schon angenommen hat und stellt ein Gegengewicht der positiven initialen Ladung in D' (Fig. 11b), welche vor dieser Bürste durch die Drehung geführt wird. Dritte Phase: Nach einer neuen Achsendrehung von 90° langt die von p'' kommende negative Ladung in D (Fig. 11b) vor p an und lässt ihre Influenz darauf wirken. Dadurch steigert sich die positive Strahlung in p und wird eine negative Strahlung in p' hervorgerufen. Das geschieht um so leichter, weil inzwischen der untere Teil der Scheiben sich in der zweiten Phase befindet und hiermit schon eine negative Strahlung in p' entsteht. Seit diesem Augenblicke ist die Verteilung der Elektrizität normal und konstant, wie aus Fig. 12 zu ersehen ist. Hier sieht man auch, wie auf dem oberen und unteren Viertel der Scheiben die vordere und hintere mit entgegengesetzter Elektrizität geladen sind und somit sich gegenseitig anziehen; die seitlichen, statt dessen mit gleichwertiger Elektrizität geladen, sich abstossen. Wenn man an diesen Stellen metallische Kämme anbringt, so

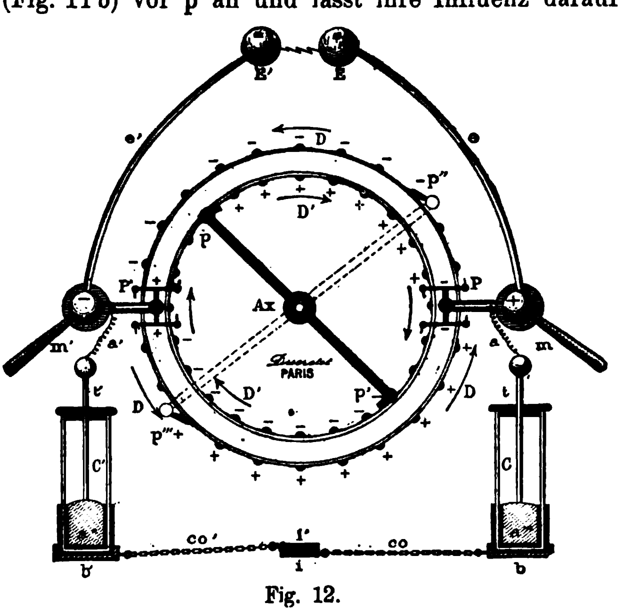


Fig. 12.

saugen dieselben die entfliehende Elektrizität auf, der eine die positive, der andere die negative Ladung. Leduc in Nantes empfiehlt statt der Kämme sanft streichende Metallbürsten, die hiermit grössere Mengen Elektrizität aufsaugen.

Auch Bordier[1]) will gelegentlich des neuen Modells Bonetti, d. i. der Elektrisiermaschine ohne Stanniolbelege, seine eigene Theorie geben, und zwar gebraucht er kommoditätshalber die aus Ebonitzylindern bestehende Maschine zur Erklärung.

Dieselbe besteht aus zwei in einander gelegten Zylindern, die eine gegenseitige Rotation haben. Der innere ist mit dem Stützapparate metallisch verbunden, der äussere dagegen isoliert. In der äusseren Form präsentiert sich die Maschine wie Fig. 13 sie darstellt.



Fig. 13.

Angenommen, dass der negativ elektrisierte Zylinder in den Bürsten des gegenüberliegenden Diametralkonduktors durch Influenz eine positive Ladung hervorbringe, so fliesst diese auf den inneren Zylinder und kommt dadurch gegenüber der Bürste des anderen Diametralkonduktors, welcher wiederum seinerseits influenziert wird — die dadurch entstehende negative Elektrizität fliesst auf den äusseren Zylinder, während die positive durch die metallische Stützachse in den Erdboden abfliesst. Man sieht so, dass die positivenLadungen vom inneren Zylinder in einem Sinne zu einem Kamme und die negativen auf dem äusseren Zylinder zu einem anderen Kamme gelangen werden. An diesen Kämmen selbst entstehen leicht verständliche Influenzerscheinungen: die negative Elektrizität fliesst auf die Zylinder, während die positive sich auf der Metallkugel ansammelt. Dadurch

[1]) H. Bordier. Théorie de la machine de Wimshurst sans secteurs. Extrait des Archives d'électricité médicale de Bordeaux.

erhalten wir zwei Kollektoren, welche mit entgegengesetzten Elektrizitäten geladen sind. Ein jeder von ihnen schafft ein magnetisches Feld um sich, in welchem die beiliegenden Bürsten sich befinden.

Daraus folgt, dass die gewöhnliche Erklärung der Maschine nur für die ersten Augenblicke ihrer Funktionierung einen Wert habe, dass aber bald darauf die Influenzerscheinungen nicht von der Reibung oder der direkten Influenzierung abhängen, sondern von den an den Kollektor-

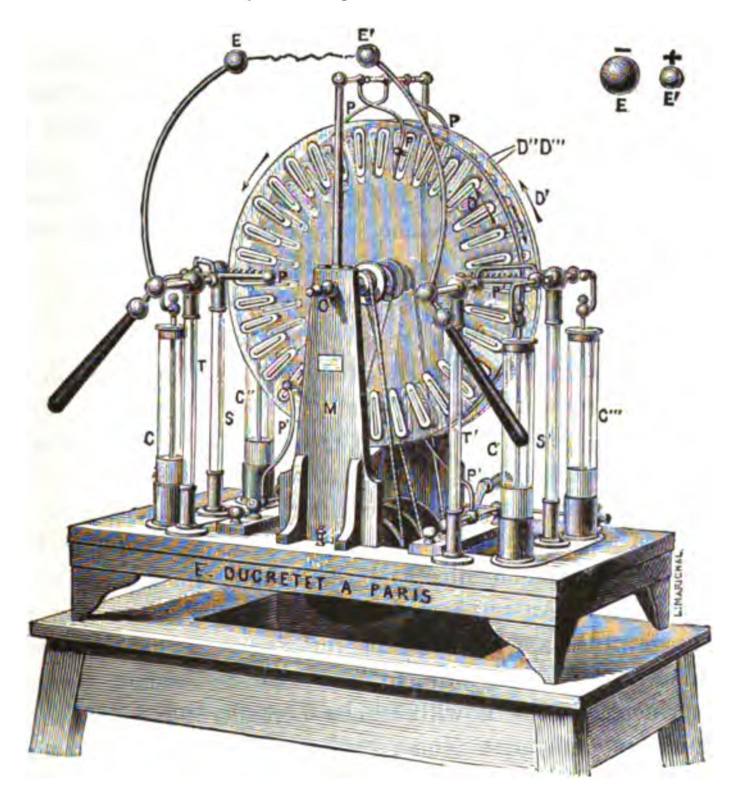


Fig. 14.

kämmen entstehenden magnetischen Feldern regiert werden. Wie man sieht, eine Erklärung, die ganz mit der von mir vorher[1]) gegebenen zusammenfällt.

Um die Produktion noch reichlicher zu gestalten, haben manche Fabrikanten mehrere Serien solcher Plattenpaare zusammengestellt, wie z. B. aus Fig. 14 und Fig. 8 zu ersehen ist. Gaiffe konstruierte für die Pariser

[1]) Siehe Luzenberger. L'elettricità statica in medicina. Giornale internazionale delle scienze mediche. Anno XXIII, 1901.

Ausstellung von Anno 1900 eine ähnliche Maschine mit sechs Scheibenpaaren, welche, mit leicht handlicher Demontierung ausgestattet, auch einzeln zu gebrauchen sind. Solche grosse Apparate bewähren sich besonders gut, seitdem man in Frankreich angefangen hat die Wimshurstsche Maschine zum Betriebe von Röntgenröhren zum Zwecke der Radioskopie zu gebrauchen. Zu gewöhnlichen medizinischen oder besser therapeutischen Zwecken genügen vollkommen die einfachen zweischeibigen Maschinen, vorausgesetzt, dass ihr Durchmesser wenigstens 70 cm beträgt.

In letzter Zeit hat Alberic Roussel[1]) von den schon grossen Maschinen eine noch grössere Ausbeute dadurch erreichen wollen, dass er einen der Kollektoren bedeutend vergrösserte. Er liess sich eine Maschine mit 8 Ebonitscheiben konstruieren, auf welchen je 11 Bürsten reiben. Von den langen zylinderförmigen Kollektoren steht einer mit einer grossen Kupferkugel in Verbindung, welche einen Durchmesser von 83 cm hat und auf 4 Säulen über die ganze Maschine schwebt. Mit dieser nun wird der Kranke in Verbindung gesetzt. Er kann dadurch Spannungen von 347400 Volts erreichen.

Da ich zweierlei Modelle, die sich als praktisch bewährt haben, zitierte, muss ich noch mit einigen Worten hervorheben, welches vorzuziehen sei: dasjenige mit den Stanniolbelägen, oder das andere ohne Metallsektoren. Dieses letztere hat, wie gesagt, statt einer einfachen Bürste an jeder Spitze der Diametralstangen, je drei. Falls diese weiter von einander geschoben werden, wird eine grössere Fläche der Scheibe influenziert, dadurch schon kann man die Elektrizitätsmengen innerhalb gewisser Grenzen verändern. Ausserdem kann man mit Sicherheit den positiven Pol an dem gewünschten Kollektor hervorbringen, je nachdem man oben oder unten mit dem Finger streicht und man ist sicher, dass die Pole nicht überspringen. Diese unwillkürliche Veränderung der Pole geschieht übrigens auch an dem alten Modelle ziemlich selten, falls man mit konstanter Richtung (das heisst ohne Detonatorenwirkung, die Wechselströme hervorruft) arbeitet. Jedenfalls ist bei der metalllosen Maschine jede Kontrolle mit der Benzinlampe vollkommen überflüssig, da man eben vorher weiss, wo der eine und wo der andere Pol entstehen werde. Das modifizierte Modell ist während der Arbeit konstanter nicht nur in der Richtung, sondern auch in der Menge. Bei der alten Maschine dauert die Reibung der Metallteile fort und ruft neue Ladungen hervor, die die Funktion verstärken, was manchmal ungelegen kommen kann. Das neue Modell ist zwar konstanter bei gleichmässigem Betriebe mit

---

[1]) Alberic Roussel. La Franklinisation réhabilité. Paris. Dorin, 1904.

Widerständen zwischen den Polen; wenn z. B. der Patient auf dem Isolierschemel sitzt und die Kopfglocke über dem Scheitel hat, so ist zwischen beiden immer eine Luftschicht als Widerstand, ladet sich aber sehr leicht aus, wenn auch momentan beide Pole in Kontakt kommen, z. B. beim Berühren des positiv geladenen Patienten mit der negativen Elektrode, oder wenn der eine Pol zum Boden geleitet wird. Der Zwischenfall ist aber leicht wieder gut gemacht, da das Laden der Maschine eben nicht umständlich ist. Jedenfalls hat jedes Modell seine Vorzüge und seine schwachen Seiten.

Französische Fabrikanten liefern meistens für die grösseren Maschinen ein Paar Glas- und ein Paar Ebonitscheiben. Welche von diesen sind vorzuziehen? Letztere sind leichter in Stand zu halten, sind nicht so zerbrechlich und können besser reingehalten werden, sind aber sehr leicht, biegen sich manchmal so, dass die Entfernung von den Bürsten und Kämmen nicht gleichmässig wird und sind zu viel von der Drehkurbel abhängig: ich möchte sagen, jedes Unlustgefühl der drehenden Person bringt eine Unregelmässigkeit im Tempo hervor. Glasscheiben sind gefirnisst und brauchen deswegen mehr Pflege, um in Ordnung gehalten zu werden, haben aber ein grösseres Gewicht, und einmal in Arbeit gesetzt, tritt in ihnen die Schwungradwirkung auf, so dass sie sich in regelmässigem Tempo drehen, auch wenn augenblicklich die Triebkraft mangelt. Besonders diese Tatsache gibt den Glasscheiben eine mit dem Ebonit nicht zu erreichbare Konstanz in der Produktion der Elektrizitätsmenge, weswegen ich sie bei angestrengtem Gebrauche immer vorzuziehen pflege.

II.

Dass elektrische Schläge einen Einfluss auf die Gesundheit haben können, scheint schon den Alten bekannt gewesen zu sein. Denn der lebende Zitterrochen, von dem schon der Dichter Claudianus weiss, dass er mit seinen Schlägen andere Fische erstarren macht (395 v. Chr.), wurde von Dioscorides, Fabius und Scribonius als ein äusseres Mittel gegen Gichtschmerzen empfohlen.

Wie alle Fortschritte der griechich-römischen Medizin war das alles in Vergessenheit geraten, als Romas, der Abbé Nollet[1]) und Dufay bei ihren Experimenten mit Kugeln, die mit atmosphärischer Elektrizität geladen waren, bemerkten, dass die hervorspringenden Funken Muskelzuckungen hervorriefen. Von dort bis zu dem Gedanken, ähnliche Funken zum Beweglichmachen gelähmter Glieder zu benutzen, ist nur ein kleiner

[1]) Nollet, Recherches sur les causes particulières des phénomènes électriques, Paris 1749.

Schritt; wir haben aber keine sicheren Nachrichten darüber, wer ihn zuerst gemacht hat: manches spricht dafür, dass dies Krüger in Helmstedt gewesen sei. Kurze Zeit darauf heilte Kratzenstein in Halle die Lähmung des kleinen Fingers bei einer Frau mittels des Funkens.[1])

Im Jahre 1748 beobachtete Jallabert,[2]) Professor der experimentellen Philosophie in Genf, dass die elektrische Ladung den Puls von 80 auf 96 Schläge beschleunigt, und dass bei einem Aderlass während der Elektrisation der Blutstrahl energischer und rascher als sonst hervorquillt. Er heilt bei dreimonatlicher Behandlung (l. c. Kap. 5, Seite 74) einen Schmied, dessen Arm seit 24 Jahren gelähmt und atrophisch geworden war. Die Beschreibung des Falles ist aber so unvollkommen, dass der Zweifel bleibt, ob es periphere Armlähmung oder hysterotraumatische Monokontraktur war.

Lecat und de Sauvages[3]) führen in Montpellier so wundervolle Heilungen aus, dass sie vom Volke als Hexenmeister verschrieen werden!

Hermann Klyn heilt eine seit zwei Jahren gelähmte Frau mit Entladungen der Leydener Flasche, Lindalt einen Choreatischen und einen Epileptiker und Watson (1763) einen Fall von allgemeinem Tetanus.[4])

Der Abbé Nollet, der so viel zur Kenntnis dieser allerwichtigsten Energie, die Elektrizität heisst, beigetragen hat, zeigt sich nicht so sehr entzückt über die wirklichen therapeutischen Resultate, und versucht in seinem Recueil de lettres sur l'électricité (1753) die überschwenglichsten Hoffnungen der anderen Autoren etwas zu dämpfen.

In Österreich führen Bohadatsch in Prag[5]) und Van Staen in Wien die statische Elektrizität als Behandlungsmethode ein und rühmen gute Resultate.

Der Abbé Sans[6]) wirft dem Abbé Nollet schlechte Handhabung der Maschinen vor, weswegen er unglückliche Resultate erzielt. Er führt wieder Wunderkuren aus und schätzt die Elektrizität über alles. Mauduyt[7]) berichtet der medizinischen Gesellschaft in Paris über erfolgreiche Behandlung bei Rheumatismus, Taubheit, Amenorrhoe, Stupor, und beschreibt äusserst genau die dazu gebrauchten Methoden, wovon die

---

[1]) Kratzenstein, Lettres d'un physicien sur l'usage de l'électricité en médecine, 1746.

[2]) Jallabert, Expériences sur l'électricité avec quelques conjectures sur ses causes et ses effets. Génève, 1748.

[3]) in Briand (siehe oben, Seite 9), zitiert l. c. pag. 18.

[4]) Siehe Foveau de Courmelle Electricité curative, Paris 1895.

[5]) Bohadatsch, De utilitate electrisationis in arte medica, 1751.

[6]) Sans, Guérison de la paralyse par l'électricité, 1772.

[7]) Mauduyt, Précis hist. et expériment. des phénom. électr. 1781 und Mémoire sur le traitement électrique appliqué à 82 malades, 1779.

gebrauchteste unserem statischen Bade entspricht, nur dass er es bis zu 3 Stunden täglich dauern lässt. Dessen Schüler Mazars de Cazèles[1]) verblüfft Toulouse mit seinen günstigen Behandlungen und heilt an sich selbst schwere Frostbeulen an der Ferse.

Wieder ein Abbé namens Bertholon[2]) aus Saint Lazare erwartet von der Elektrizität die Heilung aller Übel, besonders hält er sie für äusserst wirksam bei Hautkrankheiten, fieberhaften Drüsenschwellungen, Krämpfen, Lähmungen, schmerzhaften Affektionen, Geisteskrankheit. Er bespricht auch den Einfluss der atmosphärischen Elektrizität auf den menschlichen Organismus, wie wir oben gesehen haben und hebt hervor, dass das menschliche Haar beim Reiben (beim Kämmen z. B.) elektrische Funken gibt und dass manche Personen auch beim Hemdwechsel Funken aus der Haut herausspringen sehen. Diese eigenartige Körperelektrizität soll der Grund der Sympathie und Antipathie zwischen verschiedenen Personen sein und kann auch vererbt werden, so dass es vor Gründung einer Familie sehr wichtig sein soll zu ergründen, ob die elektrischen Eigenschaften der zukünftigen Frau diejenigen des Freiers anziehen oder abstossen.

Dass der menschliche Körper plötzliche Funken geben könne, ist auch nachträglich beobachtet worden[3]), so z. B. untersuchten Ahrens und Pfaff im Jahre 1817 eine ganze Reihe von Personen, die meistens mit positiver Elektrizität geladen gefunden wurden, mit einem Übergewicht negativer Ladungen bei Frauen! Hermann Nasse, der die Versuche wiederholte, fand weit geringere Mengen als Ahrens, ausserdem immer nur positive Elektrizität und, was noch merkwürdiger ist, er fand sie auch bei Leichen. Deswegen will er sie nicht als Folge des Lebensprozesses interpretiert wissen, sondern als zufällige Vorkommnisse, die wahrscheinlich von der Reibung der Kleider abhängen.

Auffallender sind die Beobachtungen Jean Dom. Cassinis, der im Jahre 1775 bei einer Reise in Italien einen russischen Herrn traf, der jedem, der ihn berührte, elektrische Schläge gab. Etwas ähnliches wird von einer Dame zu Orfort (New-Hampshire U. S. A.) berichtet; die Funken, die der Arzt Dr. William Hosford ihr aus den Fingerknöcheln herauslocken konnte, waren $^3/_4$ Zoll lang. Diese Fähigkeit dauerte in ihr von Ende Januar bis gegen Mitte Mai. Ein anderer amerikanischer Autor Loomis (1850) findet dieses Vorkommen im Winter nicht so

---

[1]) Mémoire sur l'électricité medicale. Toulouse 1780 und 1782.

[2]) Bertholon, De l'électricité du corps humain dans l'état de santé et de maladie. 2 Bände, 1780.

[3]) Siehe E. Brücke, Vorlesungen über Physiologie. Wien, 1875

selten und bezieht es auf die Luftheizung und den Gebrauch von Wollsamtteppichen, welche durch Reibung an den Schuhen die elektrischen Phänomene hervorrufen.

Ch. Féré[1]) berichtet einen Fall einer hysterischen Frau, welche ähnliche Phänomene sehr deutlich darbot und fügt hinzu: „So was könnte eine Erklärung geben für das Transfert, die Polarisation, die elektive Empfindlichkeit, die Wirkung in der Ferne" und lässt sich bis zur Bezeichnung einer „elektrischen Neurose"[2]) führen.

Dagegen wehrt sich Dubois[3]) in Bern, welcher sehr deutlich die elektrische Ladung an sich selbst und Personen seiner Familie bemerkt hat, und mit voller Sicherheit, sei es durch hygrometrische Messungen, sei es infolge eines Wohnungswechsels, wodurch sie noch frappanter auftraten, Gelegenheit hatte, dieselben mit der Trockenheit der umgebenden Luft in Zusammenhang zu setzen, somit nur Reibungselektrizität darstellen sollen.

Auch unlängst bestätigte mir Professor Dubois in einer privaten Mitteilung, dass er fast alle Tage, bes. im Winter, an sich selbst solche Phänomene bemerken kann; sehr oft sind seine Haare rebellisch und sträuben sich, wie er den (aus Zelluloid gefertigten) Kamm ihnen zum zweiten Male nähert. An manchen Tagen entstehe sogar ein Knistern, welches in der Ferne zu hören sei. Sonst seien solche Erscheinungen ganz gemein (banales).

Marat,[4]) derselbe Johann Paul, welcher nachher im Wohlfahrtsausschuss der französischen Revolution eine so grausame Rolle spielen sollte, publizierte eine von der medizinischen Akademie zu Rouen preisgekrönte Denkschrift über die Elektrizität, worin er die Übertreibungen Sans' und Bertholons geisselt, indem er sie als suggestive Wirkungen bezeichnet (il faut être bien sûr que la question ne suggererait pas la réponse). Seinerseits versichert er, dass wir in der Elektrotherapie keinen Suggestionswirkungen nachzugehen brauchen, da der Einfluss der Elektrizität, wo diese angemessen, eine leicht zu beweisende Tatsache sei. Er vermisste in seinen Untersuchungen Messinstrumente und war der erste, der

---

[1]) Ch. Féré, La Pathologie des émotions, Paris, 1892, pag. 187.

[2]) Ch. Féré, Progrès médical 1884, pag. 540.

[3]) Dubois, A propos de l'électrogénie du corps humain. L'électrothérapie. 1 A, No. 5, Mai 1888, pag. 141.

[4]) J. P. Marat, Mémoire sur l'électricité. Rouen, 1783.
— Mémoire sur l'électricité médicale. Paris, 1784.
— Recherches physiques sur l'électricité. Paris, 1785.

deren Notwendigkeit betonend, ein sogen. Permeomètre erfand, um zu ersehen, ob die Körper vom elektrischen Fluidum durchdrungen werden. Ausserdem modifizierte er das Elektrometer und die Leydener Flasche, die er in der neuen Form excitateur-condensateur nannte.

Da zu jener Zeit die Franklinische Elektrizität die einzig bekannte war, so wurden verschiedene Methoden ausgearbeitet, um sie den verschiedenen Gelegenheiten anzupassen. Sigaud de la Fond[1]) unterscheidet sieben Behandlungsweisen: 1. das elektrische Bad (statisches Luftbad), 2. den Funken, 3. die Berieselung (irroration), 4. die Reibung (friction), 5. die Behauchung oder den elektrischen Wind, 6. die Behandlung durch Entziehung, 7. durch Schlag. Diese Arten hatten sich auf der Basis des Experimentes entwickelt, und wir finden sie mehr oder weniger von allen Autoren jener Epoche gebraucht; ich habe sie nur aus Sigaud de la Fond hervorgehoben, weil er als letzter darunter mehr als eigene Untersuchungen, eine systematische Zusammenstellung des Themas bezweckt, als letzter der Epoche, denn inzwischen stieg die Erfindung des elektrischen Stromes bahnbrechend auf. Diese seinem physiologischen Erklärer nach Galvanismus genannte Form der elektrischen Energie wird von Alexander Humboldt (1799) bezüglich ihres Einflusses auf Muskelkontraktionen geprüft und weckt dadurch vollends die Aufmerksamkeit der ärztlichen Welt. Aldini in Bologna (1804) hebt besonders deren Wichtigkeit in der medizinischen Behandlung hervor.

Thillaye[2]) bespricht noch mit gleichem Interesse die Elektrizität, wie sie damals die statische nannten, und den Galvanismus, aber wenige Jahre darauf fasst Pascalis alles, was Mauduyt und Sigaud geleistet haben, zusammen, ohne eigene Forschungen zu bringen oder rege Tätigkeit dafür zu bezeigen.

Fünfzig Jahre später gibt Briand[3]) deutlicher an, dass zu seiner Zeit die statische Elektrizität sehr selten in der Medizin gebraucht wird. Nur in Amerika trachtet Golding Bird[4]) die Leydener Flasche als vorzügliche Behandlungsmethode bei Bleilähmung anzupreisen.

Die Physiologie, unter dem Drange Humboldts und in der Schule Joh. Müllers und Helmholtz' eine Wissenschaft der Bewegung oder eine Lehre von der Tätigkeit der Organismen geworden, findet in den

---

[1]) Sigaud de la Fond. De l'électricité médicale 1802, Methoden, die auch im Traité complet d'électricité (1785) von Cavallo dagestellt werden.

[2]) Thillaye, Essai sur l'emploi médical de l'électricité et du galvanisme, 1803.

[3]) Briand (1855) l. c. pag. 21.

[4]) The Lancet, 1876, Juin.

Pflügerschen Gesetzen über Elektrotonus eine grosse Befriedigung und gibt einen grösseren Halt zur wissenschaftlichen Bearbeitung des Galvanismus sowohl in der Form des konstanten als des unterbrochenen Stromes, da dieser sich eben leichter in mechanische Begriffe einzwängen lässt (wir pflegen ja immer per analogiam zu denken) und vernachlässigt jene Äusserung der Elektrizität, welche sich noch als Fluidum kundgibt, bis, möchte ich sagen, die Experimente von Hertz und die Theorien von Maxwell uns nicht besser belehren, dass auch sie denselben Gesetzen unterliegt, die im ganzen Weltall Kraft und Stoff als unzertrennbare Begriffe darstellen. Zu jener Zeit aber, nämlich im grösseren Teile der zweiten Hälfte des XIX. Jahrhunderts, im goldenen Zeitalter der experimentellen Physiologie, werden die elektrostatischen Maschinen Museumsobjekte der grösseren Spitäler, wo sie früher vorhanden und im Dienste der Kranken gestanden haben. Der tüchtige Kliniker und Elektrodiagnostiker Duchenne de Boulogne, der Schöpfer der lokalen Faradisation, erklärt direkt und mit der allergrössten Zuversicht, dass „die statische Elektrizität keinen Einfluss hat auf die inneren Organe, weder den Puls, noch die Ausscheidungen, noch die geistigen Funktionen zu verändern imstande sei, und dass sie, da ihre therapeutische Wichtigkeit ebenso gering sei wie ihre physiologische, mit vollem Rechte von allen verlassen sei.“ (1855.)

Wer hätte gewagt, nach so einem Urteile eines so geschätzten Mannes noch über statische Elektrizität zu reden? Doch war sie nicht endgültig begraben, und es genügte, eine neue Erzeugungsquelle derselben zu erfinden, um sie wieder ins Leben zu rufen. Das haben die Influenzmaschinen geleistet um das Jahr 1865. Und sofort finden wir Schwanda[1]) und Fieber[2]), welche sich bemühen, die physiologischen und therapeutischen Wirkungen der Spannungsströme, das ist der neue Name für die statische Elektrizität, herauszufinden. Auch England, Amerika und Frankreich nehmen das von Duchenne so schroff verdammte Thema wieder auf. Dort preist Russel Reynolds[3]) die Franklinisation besonders bei Neuralgien, Lähmungen und Empfindungsstörungen,

---

[1]) M. Schwanda, Über die Elektrophormaschine von Holtz und ihre Verwendung in der Elektrotherapie. Med. Jahrbücher (Wien) 1868. Bd. 15, S. 163 und Über die Wirkungen der von der Holtzschen Maschine gelieferten Spannungsströme auf Menschen. Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie. 1868, Bd. 13, Seite 622 und Centralblatt für die medizinischen Wissenschaften, 1868, Seite 67.

[2]) Friedrich Fieber, Über die therapeutische Verwertung der Holtzschen Influenzmaschine. Wiener med. Wochenschrift, 1869, No. 30.

[3]) Russel Reynold, Lectures on clinical uses of electricity. London, 1871.

hier wollen Arthuis[1]) und die beiden Vigouroux[2]) auf ein so kostbares Heilmittel nicht verzichten.

Arthuis, „der guten Sache zuversichtlich und der Richtigkeit seiner Ansichten überzeugt“, entzog die statische Elektrizität den Händen der Schwindler und Kurpfuscher, in welche sie gefallen war, dadurch, dass er sie neuerdings genauen und ausdauernden Experimenten unterzog und es gelang ihm, seine Schlüsse, für welche der damals in der Medizin tonangebende Peter bürgte, von der französischen Akademie annehmen zu lassen.

Er stellt fest, dass die statische Elektrizität die ganze Körperoberfläche überdeckt, was wir mit dem Galvanismus nicht erreichen können und dadurch eine allgemeine Wirkung hervorbringt. Sie wird dadurch zum mächtigsten Erreger des Organismus und kann als Ableitungsmittel als Gegenreiz und als Verbreitungsantrieb (dissémination) gebraucht werden. Sie wird ebenso ein starkes kraftbeförderndes Mittel bei allen Schwächezuständen. Bei Nervenkrankheiten ist sie zugleich Reiz- und Beruhigungsmittel und wird hiermit zum echten Spezifikum der reizbaren Schwäche, wie wir sie bei Neurasthenie und anderen Neurosen finden. Arthuis rühmt vorzügliche Erfolge bei Hysterie, Cerebrasthenie und Myelasthenie, Zwangsgedanken, besonders mit ängstlicher Färbung, bei Chorea in Kindern, bei nervösem Asthma, Neuralgien, Darmatonien, Rheumatismen, peripherischen Lähmungen, Empfindlichkeitsstörungen, Geschlechtsschwäche, Chlorose und Dysmenorrhoë; er sah Besserungen bei Epilepsie, Schüttellähmung, Schreibkrampf, Hemikranie, Rückenmarksdarre, Muskelatrophie, Drüsenschwellungen, Diabetes — wie man sieht, mehr oder weniger bei sehr vielen Nervenkrankheiten, aber auch bei Stoffwechselstörung und infektiösen Prozessen.

Paul Vigouroux[3]), welcher nach eigner Angabe bei Arthuis lernte, publizierte ein wertvolles Handbuch darüber, in welchem er besonders die praktische Seite hervorhebt. Er glaubt, er habe deshalb einen wahren und grossen Fortschritt in der Franklinisation erreicht, weil es

---

[1]) Arthuis, Les applications médicales de l'électricité statique, 1871. Paris.
— L'électricité statique et l'hystérie. Paris, 1881.
— Traitement électrostatique des maladies nerveuses, des affections rheumatismales et des maladies chroniques. Paris, 4. éd., 1892.

[2]) Paul Vigouroux, De l'électricité statique et de son emploi en thérapeutique. Paris. Baillière, 1882.

[3]) Romain Vigouroux, Traitement de l'hysterie par l'électricité statique. Traitement de la neurasthenie par la Franklinisation in Handbuch Levillain's über Neurasthenie, Paris 1891, und mehrere andere Abhandlungen, worunter auch jene Theorie de la machine de Wimshurst, welche wir im allgemeinen Teile dieses Werkes kritisierten.

ihm einleuchtete, welch ein Schaden von den Kondensatoren kommen könne. Gewissenhafte Forscher, wie Duchenne, hätten die statische Elektrizität verworfen, „weil sie Gefässzerreissungen hervorrufe!!" Das könne aber nur geschehen, falls man aus der Leydener Flasche Funken ziehe und deswegen will Vigouroux als „absolutes" Prinzip festgestellt wissen, „dass der Gebrauch der Kondensatoren in der Therapie für immer verworfen werden müsse." [1]) Er drängt darauf, dass nur die Quantität wohltuende Wirkung ausübe und nicht die Spannung und wiederholt den Mascartschen Versuch, dass man ohne nachteilige Folgen 20 cm lange Funken auf sich schlagen lassen kann, falls diese direkt von den Scheiben der Elektrisiermaschine kommen, während Entladungen mit wenig Millimeter langen Funken, falls sie von Kondensatorenbatterien kommen, äusserst schmerzhaft und sogar niederschmetternd werden können. Er wendet sich deswegen an alle Elektrotherapeuten mit der Aufforderung, die Leydener Flaschen, welche die Fabrikanten den Maschinen beigeben, sofort wegnehmen zu lassen. In diesem Kampfe gegen die Kondensatoren wurde er so wirksam, dass französische Fabrikanten die Elektrisiermaschinen grösseren Modells (von 55 cm Scheibendurchmesser an), welche zum elektrostatischen Bade bestimmt sind, tatsächlich ohne Leydener Flaschen lieferten.

Dabei tritt zuerst eine sehr wichtige Kenntnis auf, nämlich die, dass auch die sogenannten Spannungsströme Elektrizitätsquantitäten haben. Wie viele irrtümliche Schlüsse, sogar Gesetze, wie viele grundfalsche Vorurteile haben die Elektrotherapie durchdrungen, weil man den Franklinischen Strom mit einer Spannung identifizierte und danach mass und danach handelte: ganz so, als ob ich beim Betrieb eines Wasserwerkes behaupten sollte, dass die Maschinen nicht nass werden, weil man als Masseinheit Atmosphärendruck einführte! So ungefähr würde die Übersetzung der gangbaren Auffassung des Faraday-Gesetzes über die Flächenausbreitung der statischen Elektrizität klingen. Wir kommen noch später darauf gelegentlich einer Polemik über die elektrolytischen Wirkungen der Franklinisation.

Sein Homonyme, welcher oft mit ihm verwechselt wird, Romain Vigouroux, hatte das Glück, seit dem Jahre 1875 eine elektrotherapeutische Abteilung in jener Salpetrière zu leiten, welche damals durch die allerwichtigsten Forschungen des grössten Neurologen der Neuzeit,

---

[1]) l. c. pag. 33. Dieselbe Meinung vertreten Paets van Troostwik und Krayenhoff (De l'application de l'électricité à la physique et à la médecine. Amsterdam 1888) und Tripier (Franklinisation. Extrait des Archives d'électricité médicale. 1897. pag. 22).

J. M. Charcot, der Mittelpunkt der wissenschaftlichen Bestrebungen Frankreichs wurde, und konnte mit dessen Hilfe sie zu einer musterhaften Anstalt stempeln, aus welcher die neuen Fortschritte der bis zu jener Zeit als Aschenbrödel behandelten Elektrotherapie in die Welt ausposaunt wurden. So brachte Stein[1]) aus Frankfurt die in der Salpetrière gemachten Erfahrungen nach Deutschland. Bezüglich der statischen Elektrizität waren die guten Erfolge, die R. Vigouroux[2]) besonders bei den Neurosen, bei den Stoffwechselerkrankungen und in den Schwächezuständen nach organischen Erkrankungen erhielt, so augenscheinend, dass dieselbe in der Medizin wieder den Platz einnahm, welchen sie Ende des vorletzten Jahrhunderts behauptet hatte.

Auch von Amerika kommen inzwischen Stimmen, welche auf ein Wiederauffachen dieses wichtigen therapeutischen Agens deuten. (James Knight.[3])

Charcot[4]) beförderte solche Untersuchungen und versuchte die Franklinisation in einem Falle von Paralyse bei Diabetes, wobei nicht allein die Nervenstörungen, die durch die diätetische Kur unverändert geblieben waren, rasch verschwanden, sondern er bemerkte auch so eine Besserung im Stoffwechsel, dass er die statische Elektrizität als elektive Behandlung der Zuckerharnruhr darstellte. Wenn nicht überall, so erhielt sich doch in der französischen Schule der Begriff, dass die Franklinisation stoffwechselerregend wirke (auch bei Gicht) — nur in Deutschland wollte man diese Fakta nicht annehmen und man sträubte sich entschieden dagegen, alles mit Suggestion erklären wollend. (Eulenburg[5]).

Desungeachtet, oder besser unbekümmert der Proteste einiger Hyperkritiker, fahren die Franzosen fort, sich damit therapeutisch zu beschäftigen. Massy[6]) ist ein entzückter Verehrer des elektrostatischen

---

[1]) Stein, Die allgemeine Elektrisation 1882. 3. Aufl. 1886.

[2]) Siehe auch Ballet, De l'électricité statique particulièrement dans les applications au traitement de l'hystérie. Progrès medical 1881, No. 17, 18, und Erlenmeyer, Centralblatt für Nervenheilkunde 1879, No. 1.

[3]) James Knight, Static electricity a therapeutic agent. Juni, 1882. New-York. Academy of Medecine.

[4]) Charcot Archives de neurologie 1890 — siehe auch Levillain, La neurasthénie. Paris 1891, Seite 278 u. f.

[5]) Siehe die nicht süsse Diskussion darüber im Kongresse zu Frankfurt am Main im September 1891, unter dem Titel „Elektrotherapeutische Streitfragen" publiziert (Wiesbaden. 1892). Seite 67.

[6]) Massy, Traitement électrique du diabète. Journ. de méd. de Bordeaux, 1898, No. 12. — Deux cas de diabète sucré. Annales d'électrobiologie, Vol. I. f. 3. Formulaire clinique d'électrothérapie. Paris 1897.

Bades, er behandelt mit dem Winde und Funken Diabetes und Neurasthenie, für letztere nennt er sogar die Franklinisation la fée guérisseuse. Auch Alberic Roussel[1]) berichtet über eigene günstige Erfahrungen bei Diabetes.

Hallager[2]) und Gilles de la Tourette[3]) halten sie für das Hauptbehandlungsmittel der Nervenerschöpfung, was auch Monell[4]) in Amerika seinerseits behauptet.

Labbé[5]) findet in ihr die beste Methode, um die Migräne zu heilen und will sogar starke Anfälle mit 10 Minuten Behandlung kupiert haben. Dasselbe hatte auch früher Arthuis behauptet.

Apostoli und Olanet[6]) heilen in 28 Sitzungen pseudotabische gastrische Krisen hysterischen Ursprungs.

Weil[7]) sah in hartnäckigen Fällen von Neuralgien die besten Erfolge vom elektrischen Winde und statischen Funken. W. Morton[8]) rät bei Ischias stark anschwellende Ströme, die von einer mächtigen Influenzmaschine geliefert werden. Schatzkij[9]) heilte eine doppelseitige Mastodynie in 11 Sitzungen. Plicque[10]) registriert Besserungen mit der Franklinisation in verzweifelten Fällen von Facialisparalyse, wo die Galvanisation und Faradisation im Stiche gelassen hatten. Nikolsky[11]) im Kaukasus rühmt dem elektrischen Bade Heilerfolge bei Tuberkulose nach und Berillon[11]) benützt die Franklinsche Douche als Schlafmittel bei Geisteskranken.

Smith[11]) findet, dass die Franklinisation ein wichtiges Herzverkleinerungsmittel ist bei schwerer Bleichsucht und bei Herzerweiterung infolge von Spitzenkatarrh.

---

[1]) Alberic Roussel, La Franklinisation rehabilitée 1994. Doin.

[2]) Fr. Hallager, Om Elektriciteten som Halbredelsesmiddel. Hospitalstidende. 1898, No. 39.

[3] Gilles de la Tourette, Semaine médicale, 1892, 12. Diagnostic et traitement des états neurasthéniques.

[4]) Monell, Manuel of static electricities in terapeutic uses. New-York, 1897.

[5]) Labbé, Séance de la societé médicopratique de Paris 9 juillet 1888.

[6]) Apostoli et Olanet, Traitement électrique de la gastralgie hystérique. Bull. de la Soc. franç. d'électrothérapie. Nov. 1898.

[7]) Ch. Weil, Le traitement électrique des neuralgies. Presse mèdicale, 1898, No. 15.

[8]) William J. Morton, Cases of sciatic and brachial neuritis and neuralgia; treatment and cure by electrostatic currents. The Med. Rec. 15. April 1899.

[9]) S. Schatzkij, Annales d'électrobiologie. 1901. No. 1.

[10]) A. F. Plicque, Traitement de la paralysie faciale. Revue internationale d'électrothérapie, 1898, B. 9, pag. 44.

[11]) Siehe: Neuere Arbeiten über Franklinisation von Dr. Otto Mund, Zeitschrift für Elektr. u. ärztl. Elektrotechnik, 1902, No. 1.

Eulenberg[1]) hatte hervorgehoben, wie beim elektrostatischen Bade und auch bei raschen Funkenentladungen die Hautempfindlichkeit bedeutend abnehme. Leloir und Doumer empfehlen diese Eigenschaft, um bei Pruritus der Haut, der Vulva und des Anus eine Linderung hervorrufen. Letzterer benützt sie auch bei Acne, Impetigo und chronischen Unterschenkelgeschwüren. Monell und Bordier hatten günstige Erfolge bei Ekzem, Pospelow und Schatzkij bei Psoriasis, Marquant bei varikösen Ulzerationen, Leloir bei Dermatoneurosen. Shoemakers empfiehlt sie sogar bei Clavi, Verrucae und Tylositäten. Derville und J. Becue flachten mit dem statischen Winde Keloidnarben in wenigen Tagen schmerzlos ab.

Damian[2]) findet, dass die Harnausscheidung vom statischen Bade beeinflusst werde und dass auch eine Zeit nachher Harnstoff und Phosphate in grösserer Menge im Harne zu finden seien. D'Arsonval zeigt im selben Jahre in der Société de biologie, dass auch die ausgeatmete Kohlensäure unter dem franklinischen Bade merklich vermehrt werde. Und das in Tierexperimenten, wobei jede Suggestivwirkung ausfällt.

Bordier referiert vor der Académie des sciences (avril 1895), dass der positive Funke zuerst Vasokonstriktion und hierauf Vasodilatation hervorbringe. Dass auch der Gefässtonus erhöht werde, zeigt er durch das Experiment bei einem Aderlass nach Aufhören des Blutens, es unter dem Einflusse der Franklinisation wieder auftreten zu lassen.

Doumer und Musin[3]) hatten äusserst rasche und wichtige Resultate bei der habituellen Stuhlverstopfung. Thiellé[4]) sah Heilungen bei nassen Ekzemen, Brandwunden und Frostbeulen in nur 5—6 Sitzungen, Legros[5]) bei Prurigo.

Moutier und Granier berichten in der Académie des sciences[6]) vorzügliche Resultate auf die Stimmbildung bemerkt zu haben. Ähnliches hatte schon vorher Laborie[7]) bei nervöser Atonie beobachtet.

---

[1]) Für diesen und folgende Autoren siehe das Sammelreferat Winklers: Die Elektrotherapie in der Dermatologie. Zeitschrift für Elektr. u. ärztl. Elektrotechnik. August 1901. pag. 68.

[2]) Damian, Sur l'action physiologique de l'électricité statique. 1890.

[3]) Doumer et Musin. Traitement de la constipation habituelle par la franklinisation localisée. Annales d'électrobiologie. B. I, H. 6.

[4]) Congrès international d'électrobiologie à Paris, 1900.

[5]) Legros (Paris), Traitement des affections prurigineuses par l'électricité. Journ. de médecine et chirurg. practique. 1899, Sept. pag. 703.

[6]) Am 5. April 1897 referiert von A. Roussel. l. c. pag. 203.

[7]) Laborie, Archives d'électricité médicale. 1894. S. 158.

Capriati[1]) stellt eine Reihe Versuche über den Einfluss der Elektrizität auf die geleistete Muskelarbeit und kommt zur Schlussfolgerung, dass „die Elektrizität in ihrer . . . . statischen Form bei geeigneter Anwendung beim Menschen eine beträchtliche Zunahme der Muskelkraft und zwar eine dauernde Zunahme bewirke". Ähnliches notierte auch Pisani.[2]) Diese anscheinend sehr wichtige Erscheinung wurde in ihren Resultaten etwas erschüttert, nachdem Schnyder[3]) ganz ähnliche Erfolge durch Anlegung von Senfpapieren am Rücken erhielt!

Tripier[4]) sah bedeutende Besserung bei überstandener infantiler Hemiplegie an einer Kranken von 36 Jahren.

Yvon[5]) hat die Wirkungen der statischen Elektrizität auf den gesunden Körper untersucht. Die unter der Leitung Prof. Weiss in Paris gemachten Proben beziehen sich auf die Ausscheidung von Harnstoff und Phosphorsäure, sowie auf die respiratorischen und zirkulatorischen Verhältnisse. Er fand, dass die Wirkungen derselben, wenn überhaupt vorhanden, nur äusserst wenig zutage treten. Bei einer Diskussion auf dem Pariser Kongresse hebt er seine Studien hervor, will aber durchaus nicht leugnen, dass sie auf den kranken Organismus vielleicht bessere Ergebnisse leisten, da seine Erfahrung sich nur auf den gesunden Menschen erstreckt.

Pisani[6]) untersuchte auf experimentellem Wege im physiologischen Institute Neapels die Veränderungen in der Wärmeproduktion des Organismus während des franklinischen Bades und fand, dass die Thermogenese sofort nach der Ladung mit Elektrizität gesteigert sei, welche Steigerung auch einige Zeit nach Aufhören desselben fortdauerte.

Pisani und Blasi,[7]) dem Beispiele Gastons, Rieders und Chabrys folgend, behandeln die Area Celsi (defluvium capillitii) mit raschem und günstigem Erfolge.

---

[1]) Capriati, V., Über den Einfluss der Elektrizität auf die Muskelkraft. Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztliche Elektrotechnik. März 1900, Seite 11.

[2]) R. Pisani, L'influenza dell'elettricità sul lavoro muscolare, Arch. internazion. de Med. e chir. 1903 f. 22.

[3]) Siehe Berner Elektrologenkongress vom Jahre 1902.

[4]) A. Tripier, Hémiplégie congénitale-Franklinisation cérébrale. Revue internationale de thérapie physique. Rome, 1901, No. 10, pag. 222.

[5]) Yvon, Wirkung der statischen Elektrizität auf den Körper. Bulletin de la société de biologie, 26. Mai 1900. Siehe Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztl. Elektrotechnik. Dezember 1900, Seite 185.

[6]) R. Pisani, La termogenesi sul bapro elettrostatico. Giorn. internaz. delle science medicale. A. XXV.

[7]) R. Pisani e F. Blasi, La franklinizzazione nulla cura dell'alopecia. Annali di elettricità medica e terapia fisica. A. I. No. 4, pag. 101, A. 1902.

Nach diesen mannigfaltigen Einzelnachrichten über den Wert der Franklinisation für eine oder die andere Krankheit finden wir wieder eine synthetische Zusammenstellung der verschiedenen Behandlungsmethoden bei Tripier.[1] Er betont, dass der Ausdruck statische Elektrizität eine unpassende Bezeichnung sei. „Welches immer das Elektrisierverfahren sei, womit der lebende Organismus behandelt wird, die Energie, welche ihm zugeführt wird, ist bisher immer in fortwährender Bewegung gewesen. Man kann die Möglichkeit zugeben, dass man den zu beeinflussenden Organismus mitten in einem Felde, auf welches man fortwährend wirkt, in einem elektrischen Gleichgewichte behalten könne; so etwas ist aber bisher nie ausgeführt worden und keines der bisher gebrauchten Verfahren, mit inbegriffen die sogenannte statische Elektrisation, entspricht dieser theoretischen Voraussetzung.“ Deswegen zieht er die nicht kompromittierende Bezeichnung Franklinisation vor. Er wünscht aber die Namen der Behandlung nicht von der Maschine, welche wir gebrauchen, herzuleiten, sondern trachtet, die gewollte und ausgeübte Wirkung mit denselben zu bezeichnen. So z. B. veränderliche und ständige Elektrisation, bei hoher Spannung und geringer Quantität usw.

Nach Tripier ist die Franklinisation wieder in Mode gekommen, wir sollen uns aber nicht damit begnügen, sondern nur diesen Augenblick ausnützen, um zu ersehen, was sie Verschiedenes von den anderen Elektrisationsmethoden leiste: mit andern Worten, wir sollen dieselbe gebrauchen, um zu urteilen, welche Rolle die Spannung im Hervorrufen physiologischer und therapeutischer Reaktionen spiele.

In der Beschreibung der Maschinen bedient er sich als erster des Ausdruckes Électrophores à rotation zur Bezeichnung der neuen Typen (Holtz, Voss, Wimshurst, Bonetti) und hebt hervor, dass dieselben sich von den früheren Modellen durch die Bipolarität unterscheiden.

Wenn wir den einen Pol eines galvanischen Elementes zur Erde leiten, so bekommen wir am freien Polende auch eine Spannung; da diese aber zwei Volt beträgt, so fällt uns gar nicht ein, uns dieser zu bedienen, wir behalten solche Elemente, falls wir kontinuierlichen Strom mit Quantität haben wollen; während die elektromotorische Kraft unserer franklinischen Motore sehr leicht die hohe Ziffer von 20000 Volts erreicht. Die faradischen Motore stellen ein Mittelding dar. Bei diesen müssen

[1] A. Tripier, Franklinisation. Archives d'électricité médicale. Octobre, 1896 und Essai de terminologie électrothérapeutique. Extrait du Bulletin Officiel de la Société française d'Électrothérapie. Juin, 1901.

noch die beiden Pole in guter Leitung zum Körper geführt werden, während wir bei der Franklinisation mit dazwischen liegenden Abständen (lacunes) arbeiten. So ist der Patient z. B. mit einem Pole in Verbindung gebracht und der andere steht um so viele Zentimeter von seinem Körper ab. Hier entsteht eine Entladung (décharge disruptive), welche eine brüske Zustandsveränderung hervorbringt. Tripier unterscheidet drei Möglichkeiten; die erste: der Patient ist isoliert und der eine Pol ist ihm genähert, während der andere frei in der Luft steht; die zweite: der andere Pol bei sonst gleicher Disposition ist mit der Erde in Verbindung; die dritte: dieser geht zum Patienten selbst. Die verschiedenen Anordnungen geben verschiedene Leistungen. Im dritten Falle hat das System den geringsten Widerstand: somit der Strom das Maximum der Intensität und auch die Energie der Entladung erreicht, die ganze Stärke, die das Elektrophor leisten kann. Ausserdem sind die Wirkungen von der atmosphärischen Feuchtigkeit und von dem Reinlichkeitszustande der Maschine abhängig, Tatsachen, die man alle bei der Behandlung vor Augen haben muss.

Früher hatte man unterschieden, ob man die Elektrizität zum Kranken einführt (Berieselung — irroration) oder ob man sie aus dem geladenen Körper herausnimmt (Ausziehung — exhaustion). Diese beiden Anwendungsweisen entsprechen nichts Verschiedenem, nachdem man weiss, dass sie nur eine disruptive Neutralisation der entgegengesetzten Elektrizitätsqualitäten sind, es hat somit keine Berechtigung, sie noch zu gebrauchen. Wirkliche Variationen sind der Funke: wird dieser durch einen Kondensator verstärkt, so haben wir den Schlag. Wollen wir ihn mildern, so erreichen wir dies entweder durch Zwischenstellen (zwischen Körper und Elektrode) eines Wolltuches (Friktion) oder dadurch, dass man pinselförmige Exzitateure benutzt, aus welchen statt Funken nur ein Feuerregen heraussprüht. Noch gelindere Anwendungen erreicht man, falls man eine dünne Metallspitze in einer gewissen Entfernung vom Körper hält: Hauch oder Wind (souffle). Dieser bezeichnet ein Mittelding zwischen der veränderlichen und der kontinuierlichen Franklinisation. Letztere ist einzig und allein im statischen Bade repräsentiert: es kann aber keine unpassendere Bezeichnung geben, da ebendaselbst die Elektrizität in fortwährender Bewegung ist.

Hierauf bespricht Tripier die Mortonschen Ströme und die Franklinisation mit sich entladenden Kondensatoren und zeigt, dass das nur Hochfrequenz ist, auch wenn wir sie mit dem rotierenden Elektrophor hervorbringen. Alles was überhaupt die Autoren unter mittelbarer

Elektrisation, dunklen Entladungen u. s. f. verstanden, gehört hierher und nicht zur wahren Franklinisation.

Auf dem internationalen Kongresse für Elektrobiologie zu Paris 1900[1]) wiederholt Tripier seine Ansichten. Im therapeutischen Teile seines Berichtes bespricht er seine spezielle Methode, um die Darminnervation zu beeinflussen. Er fixiert den positiven Pol in einer breiten, nassen Elektrode am Kreuzbein und legt in eine ebenfalls nasse Stirnbinde einen Knopf, der mit einer äusseren Spitze endet. Gegenüber dieser steht der negative Konduktor in Kugelform, oder eine metallene Kugel, die zur Erde abgeleitet wird. Die Wirkung soll bei neurasthenischen Darmerkrankungen vorzüglich sein. — Der Funke und die franklinische Massage sollen viel stärkere ableitende Wirkungen ausüben als die Faradisation. — Gegenindikationen für die Franklinisation seien akute Entzündungen, Fieber, hektische Zustände; mehr oder weniger dieselben, die schon Sigaud de la Fond und Sauvage angegeben hatten. T. nimmt entschieden Stellung gegen die Meinung, dass in der Franklinisation alles sich nur auf der Körperoberfläche abspiele. Auch die Alten kannten ja diaphoretische Wirkungen, und sogar der behandelnde Arzt, falls er sich nicht isolierte, konnte allgemeine Wirkungen spüren. So z. B. erzählt uns Sigaud, dass er 3—5 unerwünschte Stuhlentleerungen hatte, nachdem er mehrere Patienten behandelt hatte. Mit der Galvanisation und Faradisation sehen wir nie so eklatante Effekte. Auch auf die Haut können wir mit dem franklinischen Winde Jucken und Ekzeme heilen. D'Arsonval bezieht es auf das strömende Ozon — man war einmal sehr geneigt, Wunderkuren auf falsche Diagnose zu beziehen: nun beginnt man statt dessen die chemischen Wirkungen der Elektrizität zu würdigen und Tripier hegt die Überzeugung, dass auf diesem Wege noch vieles zu leisten sein wird.

Auf demselben Pariser Kongresse [2]) bringt Schatzkij einen Bericht über die therapeutischen Grundlagen der Franklinisation. Er erkennt, dass eine grosse Anzahl Ärzte deren Wirkung auf suggestive Weise erklären wollen, da sie in der Idee leben, dass sie sich nur auf der Oberfläche des Körpers ausbreite, das sagt ja das Faradaysche Gesetz aus. Auf dem Moskauer Kongress haben einige Gelehrte, auf diese Be-

[1]) Siehe Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztliche Elektrotechnik von Dr. Hans Kurella, No. 7, 1900, September. Koblenz und Leipzig, Seite 106. Tripier, Rapport sur les indications générales de la franklinisation.

[2]) Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztl. Elektrotechnik. 1900. Sept. No. 7, pag. 98. Schatzkij, Bases thérapeutiques de la Franklinisation und: Die Grundlagen der therapeutischen Wirkung der Franklinisation. Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztl. Elektrotechnik. III, J., H. I, März 1901.

hauptung sich stützend, gefolgert, dass „aus diesem Grunde der statische Strom das vorzüglichste Medikament des peripherischen Nervensystems sei.“ Der Autor fügt richtig hinzu, dass eine Oberflächenverteilung im geometrisch-physikalischen Sinne nicht die Haut und die darunter liegenden Gewebe durchdringen kann. Er glaubt, dass die Franklinisation durch den elektrostatischen Druck auf die Haut keine Wirkung auf den Organismus ausüben könne. Ganz anders aber, wenn elektrische Massen in Bewegung gesetzt werden, diese müssen den menschlichen Organismus durchdringen und in demselben Veränderungen hervorrufen. Er untersuchte deswegen

1. welches Verhältnis existiert zwischen statischer Elektrizität und polarer Elektrolyse,

2. ob die elektrischen Massen, welche im Spiele sind, wenn man Funken zieht oder mit dem statischen Winde behaucht, in den menschlichen Körper durchgehen oder an dessen Oberfläche gleiten,

3. ob solche Massen in der interpolären Strecke elektrolytische Wirkungen üben können.

Seine Experimente bestehen darin, dass er Mischungen von Stärkekleister und Jodkali den verschiedenen Applikationen unterstellt und aus der blauen Jodreaktion auf elektrolytische Wirkungen schliesst. Kontrollproben werden dadurch geleistet, dass in Jodkalikleister getauchte Wattetampons in trockener Gaze fest eingeschlossen werden, worauf der Funke dirigiert wird. Das beweist die Tiefenwirkung der Franklinisation. Dieselbe wirkt in den Geweben durch Freilegung von Sauerstoff und beschleunigt somit den Stoffwechsel.

Die elektrischen Massen beeinflussen bei ihrer Durchströmung durch den Körper nicht nur die Elektrolyten, sondern auch die organisierten Partien und zwar durch Erhöhung der Zahl der Kalorien im Körper, also auch durch einen rein physikalischen Prozess.

Was der Funke leistet, wirkt auch in etwas geringerem Masse der Wind und das elektrische Bad.

Die Hauptschlüsse, zu welchen Schatzkij kommt, lauten: „alle in der Therapie geübten Methoden der Franklinisation sind notwendig von Strömungen elektrischer Massen durch den Organismus begleitet; diese Massen suchen den besseren Leiter und kürzesten Weg zu den Punkten ihrer Neutralisation“ und „bei der Durchströmung elektrischer Massen durch die Gewebe und Flüssigkeiten des Körpers entwickeln sich unbedingt in demselben elektrolytische Phänomene und Wärme“.

Auch zugegeben, dass die Entwicklung der Wärme und die Bewegung der elektrischen Massen eine Rolle bei der therapeutischen Anwendung

der Franklinisation spielen, beziehen sich die Experimente Schatzkijs lediglich auf die Elektrolyse. Dadurch liess er die Meinung gross werden, dass er eigentlich nur auf dieses Moment Gewicht lege, weswegen er von mehreren Autoren angegriffen wurde. So bemerkt Mund,[1]) dass ihm der Gedanke, die franklinischen Wirkungen beruhten in erster Linie auf elektrolytischen Zersetzungen, schon in Anbetracht der hier in Frage kommenden ausserordentlich kleinen Elektrizitätsmengen als durchaus kein glücklicher erscheine, dass wir hier statt dessen infolge des sehr hohen Potentials vor allem mechanische Effekte erwarten müssen. —

A. Decker in Chicago[2]) geht noch weiter. Er greift direkt die Deutung der Schatzkijschen Experimente an, die er auf einfacher Ozonwirkung beruhen lassen will. Er führt ähnliche Experimente aus mit solchen Veränderungen in der Disposition, dass eine Elektrolyse nicht stattfinden könne und bekommt ebenfalls die charakteristische Blaufärbung: mit Guajaktinktur z. B., welche auf Ozon reagiert, nicht aber auf Elektrolyse, bekommt er die gleichen positiven Resultate. „Unberührt von dieser Kritik der Schatzkijschen Experimente bleibt die andere Behauptung des Verfassers, dass die statische Elektrizität sich nicht nur auf der Oberfläche des menschlichen Körpers befinde. Es besteht für denjenigen, der sich mit der Anwendung der Influenzmaschine beim Menschen beschäftigt, nicht der geringste Zweifel, dass es sich nicht bloss um eine Oberflächenausbreitung der Elektrizität handelt."

Bevor ich die weiteren Phasen dieser Polemik betrachte, möchte ich einige Worte dem Modus, wie dieses Vorurteil entstanden ist, widmen, welches noch häufig in der Elektrotherapie so sehr eine Rolle spielt, dass sogar einige Autoren die Schmerzlosigkeit der Hochfrequenz wieder auf die Oberflächenausbreitung (skineffect der Engländer) beziehen wollten. Das Gesetz lautet: aus der Abstossung, welche gleichnamige Elektrizitäten auf einander ausüben, folgt, dass die Elektrizität elektrisierter Leiter sich nur auf ihrer Oberfläche, nie im Innern befinden kann. Die Experimente, um es zu beweisen, sind erstens: eine Hohlkugel mit einer Eingangsöffnung wird elektrisiert und hierauf mit dem Elektrometer verbunden: die äussere Fläche zeigt eine Ladung an, die innere Luft ist ungeladen; zweitens: eine baumwollene Nachtmütze, auf isoliertem Fusse

---

[1]) O. Mund, Neuere Arbeiten über Franklinisation. Zeitschrift für Elektrotherapie und ärztl. Elektrotechnik. IV. Jahrgang, 1902, pag. 20.

[2]) Adolf Decker, Über die elektrolytische Kraft der statischen Elektrizität. Zeitschrift für Elektrotherapie auf Grundlage der Elektrotechnik. IV. J., 1902, No. I, Seite 7 und: Influenz-Elektrizität und Elektrolyse. Eine epikritische Bemerkung. Ebendaselbst, No. 12, Seite 376.

stehend, wird ebenfalls geladen und dann auf Elektrizität gemessen — sodann umgekippt mit isolierten Instrumenten und wieder auf Ladung betastet, dieselbe ist immer auf der äusseren Fläche, nie auf der inneren. Vor allem wird bei diesen Experimenten, hebt Schatzkij hervor, mit ruhender Elektrizität experimentiert, während bei therapeutischen Leistungen wir immer mit Elektrizität, die wir hervorbringen und durchgehen lassen, arbeiten. Das entspricht auch nicht genau den Tatsachen, zwischen dem Faradayschen Experiment und unserer therapeutischen Ladung ist nur ein Quantitätsunterschied: auch bei jenem berühren wir mit dem elektrisierten Glasstabe die Nachtmütze und von dieser erhaltenen Ladung strömt Elektrizität in die umgebende Luft, welche als cohibens dieser Strömung entgegengearbeitet; trotzdem ist der Baumwollstoff nach einer gewissen Zeit vollkommen entladen. Nun, was messen wir mit dem Elektrometer? Nichts anderes als die Spannung. Nun gibt es in einem guten Leiter keine Spannung: falls wir mitten in der Strecke einer gleich dicken und gleich dichten metallischen Leitung eines starken industriellen Dynamostromes die Spitzen eines Voltmeters anlegen, werden wir gar keinen Ausschlag erreichen können, wir müssen immer an den Enden eines dazwischengelegten Widerstandes messen, um Potentialdifferenzen zu erhalten. In den Metallkugeln der Kollektoren und in dem Baumwollstoffe der mehrmals zitierten Nachtmütze haben wir sicherlich elektrische Wellen (wir können uns absolut eine zweidimensionelle Materie, hiesse diese auch Äther, nicht vorstellen), aber diese Wellen erscheinen uns als Spannung nur wo sie einen Widerstand treffen und dieser ist die umgebende atmosphärische Luft. Das Faradaysche Gesetz soll somit statt: Spannungselektrizität sammelt sich auf der Oberfläche, umgewandelt werden in: elektrische Spannung messen wir lediglich an der Oberfläche! was nicht hindert, dass elektrische Massenbewegung, die wir derzeit bei franklinischem Strome nicht imstande sind, genau zu messen, auch im Innern vorhanden sei.

Schatzkij publiziert im Januar-Heft 1903 der Zeitschrift für Elektrotherapie und phys. Heilmethoden einen defensionellen Artikel, in welchem er die Kritik Deckers lahmzulegen trachtet und im selben Hefte bringt H. Kurella[1]) eine Betrachtung über die historische und physikalische Seite dieser Polemik. Schon Winter in Halle (1799) und Pearson (1797) haben angesäuertes Wasser zersetzt — und ich füge hinzu in Italien, das in den meisten Wissenschaften einen Vorläufer

---

[1]) H. Kurella, Physikalisches zur Frage von der Elektrolyse durch statische Elektrizität.

aufzuweisen hat, „revivizierte“ Pater G. B. Beccaria[1]) (1716—1781) Metalle aus ihren Kalken (Oxyden) dadurch, dass er zwischen zwei Stücken derselben elektrische Funken überschlagen liess. Wollaston, Faraday, Riess, Nernst und Ostwald haben dasselbe gezeigt, so dass kein Zweifel über die elektrolytische Wirkung der statischen Elektrizität bestehen könne. Nun haben die beiden letzteren auch Messungen vorgenommen und gefunden, dass in einer Sekunde drei Hundertmillionstel (3×10^{-8}) Milligramm Wasserstoff entwickelt wurden. Daraus folgt, dass ein Strom von einem Milliampère 333 mal stärker wirke als der Strom einer mittleren Elektrisiermaschine. Aus den Messungen von Mascart und Joubert wissen wir, dass eine grosse Maschine eine mittlere Elektrizitätsmenge von einem Milliampère von sehr kurzer Entladungsdauer geben könne. Ausserdem gibt Kurella genaue Berechnungen, wie gross die geladene Stanniolfläche sein muss, um per Sekunde ein Milligramm Wasserstoff auszuscheiden und kommt zum Resultate, dass sie drei Millionen Quadratmeter betragen müsse. Aus alledem resultiert, dass, falls wir elektrolytische Wirkungen erreichen wollen, wir gewiss nicht den billigsten und kürzesten Weg in der statischen Maschine suchen können: dass aber bei der Beurteilung der Wirkung von Hochspannungsentladungen, welcher Art sie immer seien, wir auf klinische Erfahrung angewiesen sind und dass diese letztere uns einen Wert in der Franklinisation finden lasse, auch wenn wir nicht wissen warum!

Auch bezüglich der Zirkulationsstörungen finden wir in neuer Zeit die Franklinisation in Gebrauch. Moutier hatte im Internationalen Elektrologen-Kongress zu Bern (1902) gelegentlich einer Kommunikation über Behandlung der übermässigen arteriellen Spannung mittelst der Arsonvalisation bemerkt, dass in einigen seltenen Fällen, wo in Folge von vorgeschrittener Arteriosklerose Schwindel und andere Phänomene auftreten, er vorziehe, sie mit Franklinisation zu behandeln. In derselben Kommunikation hebt er hervor, dass Arteriosklerotiker mit vermindertem Blutdrucke nur von der franklinischen Elektrizität eine Besserung, von allen anderen Arten eine Verschlimmerung auftreten sehen. Unlängst sprach Schmith im deutschen Kongresse für innere Medizin zu Leipzig (18.—21. April 1904) ein warmes Wort für diese Methode, welche, mit einer besonderen Diätetik gepaart, vorzügliche Resultate liefern soll.

Bordier[2]) referiert über günstige Resultate bei Chorea. Roussel[3])

---

[1]) Zitiert bei Svante Arrhenius, Lehrbuch der Elektrochemie, Leipzig, 1901, pag. 16.

[2]) Bordier, Plecis d'electrotherapie. 2. éd. 1902. pag. 400.

[3]) Alberic Roussel l. c. pag. 170.

sah die trophischen Störungen der Poliomyelitis unter der Franklinisation verschwinden. Gatchkovsky will Zahnschmerzen mit dem elektrischen Winde behandeln und hatte unter 76 Fällen nur drei Misserfolge. Patel und Viannay[1]) besserten die Beckenschmerzen und den Vaginismus bei Frauen. Célérier[2]) sah die verminderte Milchsekretion unter dem franklinischen Winde wieder reichlich auftreten.

Noch von einer Seite muss ich die Literatur über Franklinisation beleuchten, d. i. über deren elektrodiagnostischen Wert.

Andeutungen solcher Muskelzuckungen, wie wir sie bei motorischen Untersuchungen mittels der Elektrizität hervorzurufen pflegen, finden wir schon beim Genfer Physiker Jallabert, dessen physiologische Betrachtungen wir schon oben zitiert haben. Er lud den auf einem isolierenden Pechschemel stehenden Kranken durch eine Elektrisiermaschine: es handelte sich um einen 52jährigen Hemiplegiker mit Atrophie. So oft die Finger Jallaberts[3]) sich den gelähmten Muskeln (am entblössten Arme) genähert hatten, sprang ein Funken über, durch den die Muskeln zur Kontraktion gebracht wurden. „Das Handgelenk und die Finger, jeder willkürlichen Bewegung beraubt, bewegte sich nach meinem Belieben, je nach dem Muskel, welchem ich meinen Finger näherte", fügt er hinzu. Dasselbe Experiment wiederholte er an sich selbst, indem sein Kollege Guiot aus ihm Funken entlockte.

Schwanda[4]) schliesst aus einer Reihe von Experimenten, dass die Spannungsströme bei direkter Reizung des Muskels in ihrer Wirkungsstärke ungefähr gleichwertig sind mit den vom Induktionsapparate unter Anwendung von 0—2 Magnetbündeln und vollständiger Rollendeckung gelieferten sekundären Strömen. Sie leisten, sagt er, in einer anderen Arbeit[5]) bei Paralysen dasselbe, was die faradischen Ströme leisten. Er bekommt bei der meist sensiblen Versuchsperson klonische Krämpfe unter Anwendung einer Verstärkungsflasche und einer Luftstrecke von 15 mm. Tetanus bemerkte er bei einer Luftstrecke von 12 mm; dieser ist weniger straff als jener, der durch Induktionsströme hervorgerufen

---

[1]) Gazette des Hôpitaux. 26. mars 1904.

[2]) Thèse de Paris 1903.

[3]) Referiert in P. Ladame, Notice historique sur l'électrothérapie à son origine. L'électricité médicale à Genève au XVIII. siècle. Revue méd. de la Suisse romande. Okt. 1885, No. 10.

[4]) M. Schwanda, Über die Elektrophormaschine von Holtz und ihre Verwendung in der Elektrotherapie.

[5]) Med. Jahrb. Wien, 1868, Bd. 15, pag. 163 und Zentralblatt für med. Wissenschaften, 1868, pag. 68.

wird, wenigstens bei der gewöhnlichen Rotationsgeschwindigkeit von zwei Kurbeldrehungen in der Sekunde.

Fieber[1]) bemerkt bei Bleilähmung, dass, wenn die abgemagerten Strecker am Vorderarme weder auf den galvanischen noch auf den faradischen Strom Zusammenziehung ergaben, die hohe Spannung mitunter Ausgezeichnetes leistete und es genügten ein paar Sitzungen, um ein kräftiges Erheben der früher schlaff herabhängenden Hand zu ermöglichen.

Ballet[2]) bemerkt, dass bei einigen Spinallähmungen die Muskelzuckung, die nicht mehr bei unterbrochenem faradischen Strom stattfindet, unter dem Funken auftritt.

Clemens[3]) und Stein[4]) wollen in ähnlichen Fällen wichtige Heilresultate von der Franklinisation gesehen haben.

Jolly[5]) fand mit Benutzung der bipolaren Methode in drei Fällen von peripherer Nervenlähmung die faradische Reaktion erloschen, die galvanische vermindert, die Zuckungen von trägem Charakter, während die Reaktion gegen statische Elektrizität deutlich nachweisbar war, wenn auch etwas vermindert, da er auf der kranken Seite eine Leydener Flasche, die auf der gesunden entbehrlich war, einfügen musste. In drei anderen Fällen mit degenerativer Reaktion konnte er auch bei Anwendung mehrerer Leydener Flaschen keine Zuckung hervorbringen. Bei Nervendurchschneidungen am Kaninchen, am Ende der zweiten und dritten Woche, fand er Steigerung der galvanischen Reaktion und bereits deutliche Abnahme der Reaktion für statische Elektrizität.

Mund,[6]) der Erfinder eines kleinen Apparates, um die Länge des Funkens genau dosieren und zugleich die Spannung der Maschine messen zu können,[7]) untersucht am Myographen die Kurve der durch statische Elektrizität erhaltenen Muskelkontraktion und findet, dass sie nicht identisch wird mit jenen, die mit dem Öffnungsinduktionsschlage erhalten werden.

---

[1]) Fieber, Über die therapeutische Verwertung der Holtzschen Influenzmaschine. Wiener med. Wochenschrift, 1869, No. 30.

[2]) Ballet, De l'électricité statique particulièrement dans ses applications au traitement des paralysies. Progrès méd. 1881, No. 17, 18.

[3]) Clemens, Die Elektrizität als Heilmittel Frankfurt a. M., 1882.

[4]) Stein, Die allgemeine Elektrisation des menschl. Körpers. Halle, 1882.

[5]) Jolly, Über das Verhalten degenerierter Muskeln gegen statische Elektrizität. Neurolog. Centralblatt. No. 13, pag. 454.

[6]) Mund, Über die Verwendung der statischen Elektrizität in der Elektrotherapie. Jahresbericht der Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Dresden, 1887, pag. 170 und 1888, pag. 15.

[7]) Siehe Th. Edelmann, Elektrotechnik für Ärzte. München, 1890. pag. 157.

Zu diesem Zwecke gebraucht er sein im III. Teile dieser Arbeit beschriebenes Franklinometer, mit den drei Kondensatorplatten armiert. Diese haben eine Stanniolbelegung von 25, 50 und 100 Quadratzentimeter und werden auf diesem so angebracht, dass ihre Entladungen in der Funkenstrecke eines Mikrometers erfolgen müssen, während das andere Mikrometer durch Aufstellung auf 0 in Kurzschluss eingeschlossen ist. Wenn die Kondensatoren ebenso wie der ganze Apparat stets in gleichen Dimensionen und besonders das dazu verwendete Ebonit stets gleiche Dicke hat, so sind darin die Bedingungen für eine exakte, allgemein vergleichbare und von der Ergiebigkeit der verwendeten Maschine völlig unabhängige Dosierung der zur Verwendung kommenden Spannungsströme gegeben.

Ein Körper von einer bestimmten Kapazität enthält, wenn er zu einem bestimmten Potentiale elektrisiert ist, stets eine ganz bestimmte Elektrizitätsmenge und die bei der Entladung entwickelte Energie hat bei gleicher Kapazität und gleichem Potentiale stets denselben Wert. Auf das Franklinometer übertragen, lautet dieser Satz: ein und derselbe Kondensator liefert bei gleicher Schlagweite innerhalb der Mikrometer stets die gleiche Menge elektrischer Energie.

Bezeichnen wir mit W die Gesamtenergie der Entladung, mit M die Elektrizitätsmenge, mit C die Kapazität und mit $V = \left(\frac{M}{C}\right)$ das Potential, so ist bekanntlich

$$W = \frac{1}{2} MV = \frac{1}{2} \frac{M^2}{C} = \frac{1}{2} V^2 C.$$

Im Franklinometer können wir nur V und C willkürlich jedes für sich verändern, und zwar V indem wir die Schlagweite variieren, C indem wir Kondensatoren verschiedener Grösse verwenden.

Die Kapazitäten der dem Apparate beigegebenen Kondensatoren verhalten sich wie 1 : 2 : 4 und da nach obiger Formel die Energie einfach der Kapazität proportional ist, so können wir bei gleicher Schlagweite mit Kondensator II den doppelten, mit Kondensator III den vierfachen Energiewert erzielen.

Bezüglich des Potentiales V liegen die Dinge nicht so einfach, weil die Schlagweite nur innerhalb ziemlich enger Grenzen dem Potentiale proportional sind und zwar bis zu einer Weite von etwa 5 mm. Da die Energie dem Quadrate des Potentiales proportional ist, so würde also bei gleicher Kapazität des Kondensators z. B. eine Schlagweite von 3 mm die 9fache Energiemenge liefern wie eine Schlagweite von 1 mm.

Für Schlagweiten bis zu 5 mm können wir uns also für unseren Apparat eine Tabelle der relativen Energiewerte konstruieren, wobei wir

die Kapazität von Kondensator I = 1 und die von diesem bei einer Schlagweite von 1 mm gelieferte Energiemenge ebenfalls = 1 setzen wollen. Wir erhalten dann

Schlagweiten in mm	1	2	3	4	5
Kondens. I, Kapazität 1	1	4	9	16	25
„ II, „ 2	2	8	18	32	50
„ III, „ 4	4	16	36	64	100

Aus dieser Tabelle ergibt sich ohne weiteres, dass wir bei dem Apparate die elektrische Reizstärke schon bei Schlagweiten innerhalb 5 mm von 1—100fachen zu steigern vermögen. Mund betont ausdrücklich, dass es sich nur um die Messung der relativen Energiewerte handelt, welche auch völlig für medizinische Zwecke genügt.

Mit dieser Erörterung, welche ich grösstenteils mit Munds eigenen Worten wiedergegeben habe, wird ein vollkommen neuer Gedankengang betreten, welcher möglicherweise dazu berufen ist, die ganze Zukunft der wissenschaftlichen Elektrodiagnostik darzustellen: ich meine die Untersuchung der Nerven- und Muskelreizbarkeit mittelst Kondensatorenentladungen. Weiter geführt wurden diese Studien unabhängig von Mund und dessen Franklinometer, von Werigo, von Zanietowski, Kwiatowski, Hoorweg, Sudnik und Mann, nur dass diese ihre Kondensatoren mit dem konstanten Strom laden.

Zur Literatur meines Themas zurückkehrend, muss ich noch die Meinungen anderer Forscher hervorheben.

Eulenburg[1]) bemerkt, „dass sich im allgemeinen die Nervenstämme und Muskeln gegen Spannungsströme in durchaus analoger Weise verhalten, wie gegen Induktionsströme“, sodass ihm bei einem grossen Material, das er in dieser Beziehung durchgearbeitet hat, bis jetzt noch kein Fall vorgekommen ist, wo eine Differenz im Verhalten gelähmter und degenerierter Muskeln gegen Spannungsströme und gegen Induktionsströme sicher konstatiert wurde. In elektrodiagnostischer Beziehung ist daher die Zuhilfenahme der Spannungselektrizität wenigstens nach dieser Richtung hin anscheinend nicht von hervorragender Bedeutung.“

Sperling[2]) geht ausführlich und wiederholt auf die Benutzung der

[1]) Eulenburg, Über neuere Apparate für Spannungselektrizität und deren therapeutische Verwendung. Deutsche Med. Wochenschrift, 1888, No. 9.

[2]) Pierson-Sperling, Lehrbuch der Elektrotherapie. VI. Auflage, Leipzig, 1893. pag. 174 (die erste Bearbeitung des Piersonschen Lehrbuches durch Sperling ist vom Jahre 1890, deshalb bespreche ich dessen Arbeit an dieser Stelle).

durch die Influenzmaschine erzeugten Ströme für die Diagnostik und Therapie der Nervenkrankheiten ein.

Die „individuellen Eigenschaften und Eigentümlichkeiten des faradischen, galvanischen Franklinschen Stromes und der Kondensator-Entladungen" besprechend, besonders sich auf die Experimente Dubois[1]) stützend, gibt er an, dass die höchstgespannten Ströme, welche wir in der Elektrotherapie verwenden, die Franklinschen Ströme, zur Reizung der sensiblen Hautnerven bei grossem Hautwiderstand (bei trockner Haut) am geeignetsten sein sollten. Spannungen, die die Höhe von 15000 Volt erheblich übersteigen, werden vom menschlichen Körper sehr gut vertragen, während wir andererseits beim Strassenstrome des elektrischen Lichtes wissen, dass Ströme von 5000 Volt und weniger imstande sind, einen Menschen zu töten. Der Grund liegt darin, dass die Funken einer Influenzmaschine nur von ausserordentlich kurzer Dauer sind und somit die in den Körper dringende Quantität von Elektrizität unendlich klein wird.

Nach seiner Auffassung würde eben der Franklinsche Funke wegen seiner sehr kurzen Dauer zuerst die Zeichen der Entartungsreaktion zeigen können. Tatsächlich beobachtet er in einem Falle[2]) von Dystrophia muscularis progressiva neben einer Herabsetzung der faradischen und galvanischen Muskelerregbarkeit ein Aufgehobensein der Reaktion gegen den Franklinschen Funken, sodass, wie er sich ausdrückt, der letztere in diesem Falle als ein noch feineres Reagens auf die in den Muskeln sich vollziehende Destruktion zu betrachten ist, als die beiden anderen Stromesarten. Er fügt aber sehr vorsichtig hinzu: „indessen wäre es verfrüht, den Aussichten dieser Methode für die Elektrodiagnostik einen besonderen Kranz zu flechten". Mehr noch scheint es ihm, darf man sich von der andern Methode versprechen, der dunklen Entladung. Vorläufig (er kennt das Mundsche Franklinometer noch nicht) aber fehlt es noch an einer für diesen Zweck unentbehrlichen Einrichtung bei unserer Influenzmaschine, an einer Mikrometerschraube, durch welche die Verstellung der Konduktorkugeln sehr fein graduiert und deren Entfernung von einander an einer Skala in Bruchteilen von Millimetern abgelesen werden kann. Die Stromstärke ist nämlich proportional der Funkenschlagweite, und eine genaue Messung der letzteren ist es, worauf es besonders ankommt.

---

[1]) Dubois, Untersuchungen über die physiologische Wirkung der Kondensator-Entladungen. Bern, 1888, und Centralblatt für Nervenheilkunde 1887, No. 7.

[2]) Sperling, Ein ungewöhnlicher Fall von Dystrophia muscularis progressiva. Neurol. Zentralbl. 1889, Seite 69.

Stembo[1]) hat in einem Fall von Gilles de la Tourettescher Krankheit bei der elektrodiagnostischen Untersuchung sich auch des Franklinischen Stromes bedient, für welchen er auch eine Erhöhung der Reaktion beobachtet.

Eine systematische Untersuchung dieses Themas führt Martin Bernhardt aus, welcher einige Jahre früher in der Überarbeitung des Rosenthalschen Lehrbuches[2]) erklärt hatte, die Ströme der statischen Elektrizität leisten nichts anderes als kräftige Induktionsapparate. Er fand sich darnach bewogen, eigene Untersuchungen über deren diagnostischen Wert anzustellen und trug sie in der Berliner Gesellschaft für Psychiatrie und Nervenkrankheiten im Jahre 1891[3]) vor.

Er bediente sich dabei stets „sowohl des Funkenstromes, als auch der sogenannten dunklen Entladung bei Einschaltung Franklinscher Tafeln, deren kreisrunde Stanniolbelegungen 113 qcm betrugen".

„Beim ersten war der eine der Aussenkonduktoren mit einem Zinkblech (von 1250 qcm) verbunden, welcher einer isolierenden Kautschukplatte auflag. Die mit dem anderen Aussenkonduktor verbundene differente Elektrode (Metallkugel von etwa 2 cm Durchmesser) wurde dem zu erregenden Nerven oder Muskel so lange genähert, bis die die Kontraktion auslösenden Funken übersprangen; dabei waren die inneren Konduktoren (Holz-Eulenburgsche Maschine) so weit von einander entfernt, dass zwischen ihnen kein Funkenüberspringen mehr stattfand. Die Distanz, bei welcher zwischen der differenten Elektrode und der untersuchten Person erregende Funken übersprangen, konnte, wenn diese Elektrode den positiven Pol darstellte, eine grössere sein und fielen die Zuckungen viel kräftiger aus, als wenn die negative Elektrode als Reizelektrode benutzt wurde. Jedenfalls wurden Nerv und Muskel sowohl bei dieser Funkenentladung, als auch bei der gleich zu beschreibenden sogenannten dunklen Entladung monopolar untersucht."

„Stand dabei die Versuchsperson nicht isoliert, sondern auf der Erde, mit welcher einer der äussern Konduktoren leitend verbunden war, so legte er den anderen, für die Reizung der Muskeln und Nerven benutzten Konduktor, bezw. die Elektrode, an die von ihm gewählte Stelle der entblössten Körperoberfläche an, brachte die inneren Konduktoren zur Berührung und entfernte sie sehr allmählich von einander, während die

---

[1]) Stembo, Berlin. Klin. Wochenschr. 1891, zitiert bei M. Bernhardt.

[2]) J. Rosenthal und M. Bernhardt, Elektrizitätslehre für Mediziner und Elektrotherapie. Berlin, Hirschwald, 1884.

[3]) Martin Bernhardt, Über Franklinsche oder Spannungsströme vom elektrodiagnostischen Standpunkt. Volkmanns Klinische Vorträge, No. 41, Leipzig 1892.

Rotationsscheibe in Gang gesetzt wurde. Bei geringer Distanz (1—5 mm etwa) der inneren Konduktoren spürt man nur ein leises Beben an der berührten Stelle. Wird die Distanz bis auf $^{1}/_{2}$—$1^{1}/_{2}$ cm vergrössert, so kontrahiert sich jedesmal bei dem (nun im grösseren Zeitabstand) erfolgenden Überspringen eines Funkens zwischen den inneren Konduktoren der unter dem äusseren Konduktorpol befindliche Muskel, bezw. die Muskeln, welche dem mit dem erregenden Pole gereizten Nerven angehören.“

Wir wir daraus ersehen, beruht die dunkle Entladung auf demselben Prinzip, dessen sich Morton[1]) bediente, um jene Applikationen auszuführen, welche er Franklinischen unterbrochenen Strom nannte und in der elektrotherapeutischen Literatur unter dem Namen Mortonsche Ströme bekannt sind; ob Leydener Flasche oder Franklinsche Tafel zum Hervorbringen der oszillierenden Entladung gebraucht wird, ist einerlei. Eben dadurch wird die Untersuchung mittels der dunklen Entladung etwas Grundverschiedenes von jener mit der Funkenentladung: für Sperling und Bernhardt ist es berechtigt, sich beider zu bedienen, wie wir bei der gewöhnlichen Elektrodiagnostik mit galvanischen Unterbrechungen und mit dem faradischen Strome untersuchen, nur dürfen wir ihre Resultate nicht als gleichwertig mit jenen anderer Autoren betrachten, da sie eben verschieden angelegt sind. Bernhardt selbst gibt an, ohne aber diese Grundverschiedenheit hervorzuheben, dass der Effekt der dunklen Entladung immer bedeutend kräftiger war. In Fällen von Entartungsreaktion, wenn der faradische Strom keine Zuckungen mehr gibt und der galvanische nur die träge idiomuskuläre Kontraktion erscheinen lässt, fand Bernhardt nie eine Wirkung des Franklinschen Funkens; bei der mittleren Entartungsreaktion, wenn nämlich die indirekte Reizung mit dem faradischen und galvanischen Strome noch prompte Zuckungen geben, die muskuläre Reizung mit dem galvanischen aber eine träge Kontraktion hervorruft, dann verhält sich der Franklinsche Funke ganz so wie die Faradisation. In einem einzigen Falle traumatischer Lähmung am Ulnaris und Medianus fand er in der Rekonvaleszenz, als die indirekte faradische Reaktion wieder aufzutreten begann, den Franklinschen Funken als ein feineres Reagens, indem er damit im Daumenballen noch die träge Zuckung ähnlich jener mit dem galvanischen Strome hervorrufen konnte. Die Fälle, in welchen die Untersuchung mit dem Franklinschen Strome einen geringen Unterschied zeigen, sind zu selten, und dieser selbst ist zu gering, dass es

---

[1]) Morton. The Franklinic interrupted current. Medical Record 1861.

sich lohnen würde, sich dieser ziemlich umständlichen Methode zur täglichen Elektrodiagnostik zu bedienen.

Auch die dunklen Entladungen gehen mit der Faradisation parallel, nur sind sie von kräftigeren Wirkungen gefolgt, und in einigen Fällen, in welchen das Maximum unserer Induktionsapparate keine Effekte hervorbrachte, konnte er noch mit der dunklen Entladung Zuckungen hervorrufen.

Auch Bordier[1]) hat sich mit der Frage befasst. Zur genauen Dosierung des Funkens bedient er sich einer speziellen Laneschen Flasche[2]), welche mit der Elektrisiermaschine in Verbindung gestellt wird, während die andere Kugel des Funkenmessers zur Knopfelektrode führt. Er prüfte genau bei jeder Untersuchung mittels der Flammenprobe, was für Elektrizität gebraucht wurde. Die Muskelzuckung wurde mittels eines Verdinschen Polygraphen aufgezeichnet. Die Resultate, zu welchen er kommt, sind: 1. Dass die Grösse der Muskelzuckung direkt proportioniert ist zum Quadrate der Länge des Funkens. 2. Dass die Energie der Zuckung proportioniert ist dem Durchmesser der Exzitatorkugel. 3. Dass die Kraft der Zuckung in dem Masse abnimmt, in welchem die von der Elektrode berührte Körperfläche zunimmt. Er fügt noch hinzu, dass die Zuckung deutlicher und kräftiger ist, wenn man den Funken direkt überspringen lässt, als wenn man ihn bei angelegter Elektrode in den Stromkreis auftreten lässt: diese letzte Methode ist aber weniger schmerzhaft als die erste.

Wie wir aus allen diesen Versuchen deutlich sehen können, hat die Franklinsche Elektrizität in der Elektrodiagnostik sich keine wichtige Stelle erwerben können; ich kann aber dabei nicht verschweigen, dass auch die dazu notwendige Technik Schuld daran trägt. Während wir bei der Galvanisation und Faradisation eine nasse Knopfelektrode an der gewählten Stelle genau anlegen und die Unterbrechung in der metallischen Leitung vornehmen, müssen wir bei der direkten Funkenentladung (die, wie oben bemerkt, die wahre Franklinisation repräsentiert, da ja bei der dunklen Entladung oder bei Mortonschen Strömen wir mehr oder weniger mit oszillierender Hochfrequenz arbeiten) eine Metallkugel gegenüber dem Reizpunkte halten, welcher von dem blitzartigen Zickzack-Schlage erreicht wird, so dass wir keine absolut genaue Lokalisation erreichen können, was natürlich nicht gleichgültig sein kann.

---

[1]) H. Bordier (Bordeaux). Étude graphique de la contraction musculaire produite par l'étincelle statique. Extrait des Archives d'électricité médicale de Bergonié. 1895.

[2]) Siehe im III. Teile dieser Arbeit, was man unter Lanescher Flasche versteht.

Um diesem unpassenden Vorgang vorzubeugen, führte Bergonié eine besondere Elektrode ein, welche darin besteht, dass eine verstellbare Funkenstrecke in einem Ebonitgriffe befestigt ist. Der eine Metallknopf dieses handlichen Spinterometers endet in eine metallische Stange, die mittels eines Hakens mit einem Pole der Maschine in Verbindung gesetzt ist, der andere hat am anderen Ende des Stützrohres wieder einen metallischen Knopf, der am Muskel angelegt wird. Manche Fabrikanten, so z. B. Ducretet, führen diesen letzten Teil in mit Rehleder überdeckter Retortenkohle aus. (Fig. 15, I) So wird am isolierten Griffe der ganze Apparat am zu untersuchenden Muskel angedrückt gehalten und der mit Schraubengang zu verlängernde oder zu verkürzende Funke entsteht in der eben beschriebenen Luftstrecke. Die Franzosen nennen solche

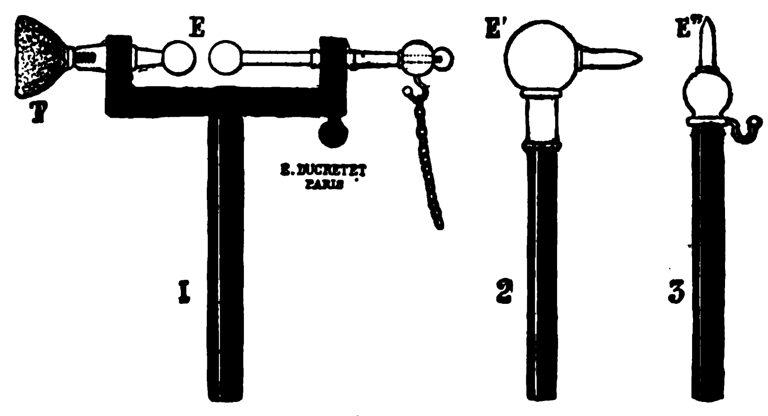


Fig. 15.

Elektroden Excitateurs médiats. Zu therapeutischen Zwecken wurden schon früher ähnliche von Morton und von Roumaillac konstruiert[1]).

Noch weniger differentialdiagnostische Wichtigkeit dürfte die Idee Apostolis[2]) haben, dass der Franklinsche Funke bei der hysterischen Anästhesie keinen Schmerz hervorbringt, während bei den Empfindungsstörungen der Tabes dorsalis er noch schmerzhaft gefühlt wird.

So können wir getrost sagen, dass ungeachtet der immer steigenden Rolle, die der Franklinsche Strom auf therapeutischem Gebiete spielt und trotz der Konkurrenz der Autoinduktion und der Hochfrequenz spielen wird, er auf diagnostischem Gebiete so gut wie beiseite gelegt

[1]) Siehe darüber Bordier. Précis d'électrothérapie. Paris. Baillière. 1902. Seite 156.

[2]) Apostoli. Essai de synthèse thérapeutique de la franklinisation et des courants de haute fréquence. Annales d'électrobiologie. A. I. f. 2 und Archives d'électricité médicale. 1898, No. 12.

ist, umsomehr, als die grundlegenden Studien Dubois und Zanietowskis zu zeigen scheinen, dass wir überhaupt mit der Elektrodiagnostik auf Irrwegen herumtappen und dass die Zukunft derselben auf momentanen Entladungen verschieden grosser Kapazitäten beruhen werde. Dass dabei die statische Elektrizität als Ladungsmittel genannter Kapazitäten dienen könne, ist selbstverständlich, nur büsst sie dabei von ihrer Selbständigkeit ein und wird dadurch nur eine Quelle, um dieselben Kondensatorentladungen zu erreichen, welche wir mit einer beliebigen Form elektrischen gleichsinnigen Stromes ebenso gut erzielen können. Und das bringt uns wieder der Einheit der elektrischen Energie nahe, die wir oben mit den Worten Tripiers hervorgehoben haben.

III.

Im allgemeinen Teile haben wir ausführlich über die Maschinen, die am geeignetsten sind, zu ärztlichen Zwecken franklinische Elektrizität in glänzender Ausbeute zu geben, berichtet. Dortselbst aber besprachen wir ausschliesslich die eigentliche Elektrizitätsquelle: bevor wir aber anfangen, die Behandlungsmethoden darzustellen, müssen wir noch jene Hilfsmittel berücksichtigen, welche uns in den Stand setzen, eine gewisse Menge statischer Energie nach Belieben in den kranken Körper zu verteilen oder an einer gewünschten Stelle desselben zu konzentrieren.

Bezüglich der Elektrisiermaschine muss ich noch hinzufügen, dass das Wimshurstsche Modell viel unabhängiger von atmosphärischen Einflüssen ist als alle andern und dass es in einem gut ventilierten Hause und in einem trockenen Klima vollkommen regelrecht und gleichmässig funktioniert, nur müssen die Metallteile rein gehalten werden. Die wenigen Massregeln, die ich für meine Maschinen beachte, sind, nie nachtsüber die Fenster offen zu lassen und die Maschine ausser den Ordinationsstunden immer in einer seidenen Decke eingehüllt zu halten. Manche Fabrikanten liefern sie in Glasgehäusen, aus welchen nur der Handgriff und die Elektroden herausragen. Für feuchte Klimata sind solche Vorsichten notwendig: ja auch das genügt noch nicht und man hat im Innenteile desselben mehrere Glühlampen eingesetzt, die eine zeitlang, bevor man die Scheiben in Bewegung setzt, eingeschaltet werden und durch ihre strahlende Wärme den Feuchtigkeitsschleier verdampfen lassen. Nun hat man bemerkt, dass der beim Betrieb entstehende Ozon, der im Innenteile des Glasgehäuses eingeschlossen bleibt, die Metallteile angreift und die Vernickelung rasch verdirbt. Um auch dem vorzubeugen, hat der Konstrukteur Balzarini in Mailand im oberen Teile einen aspirierenden Ventilator, welcher automatisch vom selben Motor betrieben wird und der auch die

Maschine in Gang setzt, angebracht[1]). Falls jemand keinen Strassenstrom hat, um die Glühlampen oder ähnliche Heizapparate zu erwärmen, so darf er sich nie des Brennspiritus dazu bedienen, weil dadurch die Feuchtigkeit noch grösser wird, sondern muss glühende Kohlen auf einer Schaufel unter die rotierenden Scheiben halten lassen. Dadurch wird auch bei sehr nassem Wetter (vorausgesetzt, dass an den Stanniolteilen oder reibenden Bürsten kein Schmutz anhaftet) die Maschine sehr leicht geladen.

Wenn man gute Wirkungen von der Behandlung haben will, so muss man auch die Leistungsfähigkeit der Maschine messen können. Der einfachste Apparat dazu besteht aus einem Kügelchen aus Hollundermark, welches mittelst eines seidenen Fadens auf einem Metallgestelle aufgehängt ist. Wird dieser elektrisiert, so ladet sich auch das Kügelchen, das wegen der gleichnamigen Ladung abgestossen wird: die betreffende Entfernung, welche als Winkelmass an einem beigegebenen Quadranten abgelesen wird, wurde als Mass der Spannung betrachtet. Dieses Spielzeug ist so grob, dass es nur gut ist, um zu zeigen, ob eine Ladung stattfindet oder nicht, aber keinesfalls als proportionelles Mass betrachtet werden darf; und zum Melden, dass die Ladung eingetreten ist, ist es auch nicht notwendig, da eine ganze Anzahl sichtbarer und hörbarer Phänomene uns davon Kenntnis geben. Somit möchte ich die Quadrantenelektrometer ebenso abgeschafft wissen, wie die sogenannten Galvanoskope bei den Batterien, welche stets nur dazu gedient haben, die Einbildung durch die Täuschung eines Messinstrumentes zu trügen und zu befriedigen.

Gute Messinstrumente für franklinische Elektrizität sind sicherlich nicht im Überflusse. Die Elektrizitätsmenge ist direkt proportional mit der Fläche, auf welcher die Ätherschwingungen entstehen und mit der Geschwindigkeit der Rotation derselben: um sie aus diesen Faktoren auszurechnen, gibt Castex[2]) folgende Formel: sei D der Durchmesser der Platten, l die Länge eines Kammes, n die Anzahl der Platten, N die Anzahl der Umdrehungen in der Minute und $d = D - 2\,l$, so könne man die sich mit Elektrizität ladende Oberfläche mit

$$O = n \,.\, N \,.\, \pi \,.\, \frac{D - d^2}{4} \text{ darstellen.}$$

Daraus weiss man aber weder die darauf entstehende Elektrizitätsmenge, noch unter welcher Spannung sich diese befinde. Zur Bestimmung dieser Faktoren benützt man eine sogenannte Lanesche Flasche.

[1]) Die Maschine in dieser vollkommensten Form war bei der Ausstellung des internationalen Kongresses für Etektrotherapie zu Bern im September 1902 zu sehen.

[2]) E. Castex. Précis d'électricité médicale. Paris. Rudeval. 1903.

Diese besteht aus einer grossen Leydener Flasche von bestimmter Kapazität, deren äussere und innere Stanniolbelege in zwei mittels Mikrometerschraube verstellbare gegenüberstehende Metallknöpfe enden. Man stelle nun diese Flasche mit den zwei Polen in Verbindung und während des Betriebes entferne man die zwei Kugeln von einander, bis man noch Funken springen sieht: diese Funkenlänge gibt die Potentialdifferenz E. Nun zähle man, wie viele (n) Funken in t Sekunden entstehen. Bei bekannter Kapazität C der Flasche ist die Elektrizitätsmenge in Coulombs

$$Q = \frac{n}{t} . C . E.$$

Wie gesagt, wird das Potentiale, die Spannung, von der Länge des Funkens, welcher sich beim vollkommenen Betriebe der Maschine ohne Kondensatoren zwischen den zwei Polen entladet, gemessen. Diese Spannung ist aber für dieselbe Maschine veränderlich; und zwar hängt sie bedeutend von der Trockenheit und Feuchtigkeit der Luft ab. Die Spannung ist nämlich, wie wir schon oben hervorgehoben haben, immer eine Folge des Widerstandes, welcher der Ausbreitung der Elektrizität entgegengestellt wird; und wie eine metallische Leitung die Spannung vollständig aufhebt, so wird eine feuchte Luft, die ein besserer Leiter ist als die trockene, die Spannung erniedrigen. Deswegen ist es auch so notwendig, imstande zu sein, im jeden Augenblicke messen zu können, ob das Potentiale die gewünschte Höhe erreicht hat, um nötigenfalls dieselbe entweder durch rascheres Drehen oder durch künstliches Erwärmen zu steigern, falls man bemerkt, dass man zu niedere Ziffern hat.

Wie das Wetter, oder besser die Nässe der Luft, so ist auch der menschliche Körper ein guter Leiter, und wir werden ihn nie unter einer gewissen Entfaltung elektrischer Phänomene halten können, falls er direkt mit beiden Polen in Zusammenhang gesetzt wird: ich spreche immer von statischer Elektrizität im wahren Sinne des Wortes und nicht von mittels statischer Maschinen hervorgerufener Hochfrequenz (Mortonschen Strömen). Es genügt aber, um Spannungsströme im Gange zu halten, dass zwischen dem mit einem Pole verbundenen Menschen und dem anderen Pole eine auch kurze Luftstrecke eingeschaltet werde. Statt Luft kann auch ein andrer Nichtleiter, wie z. B. ein Wollstoff dieselbe Leistung gewähren.

Das handlichste Instrument, um sofort die Höhe des Potentiales auch während der Applikation an dem Kranken herausfinden zu können, ist das Mundsche Franklinometer [1]). Es besteht (Fig. 16) aus zwei auf Glas-

[1]) Mund. Über die Verwendung der statischen Elektrizität in der Elektrotherapie. Jahresbericht der Gesellschaft für Natur- und Heilkunde in Dresden. 1884. S. 70 und M. Th. Edelmann, Elektrotechnik für Ärzte. 1890. S. 159.

stäben isolierten Metallkugeln P_1 und P_2, welche mittels Metallstäben (m und n) mit den beiden Polkollektoren der Maschine in Verbindung gebracht werden. Diesen Kugeln gegenüber, ebenfalls auf Glasfüssen isoliert, stehen je zwei ineinander schiebbare Metallzylinder A und B. Das Innere derselben kann mittels Mikrometerschraube (deren Kopf im isolierten Handgriffe C und D steckt) von den Kollektorkugeln P_1 und P_2 entfernt oder ihnen genähert werden und die jeweilige Distanz kann an einem

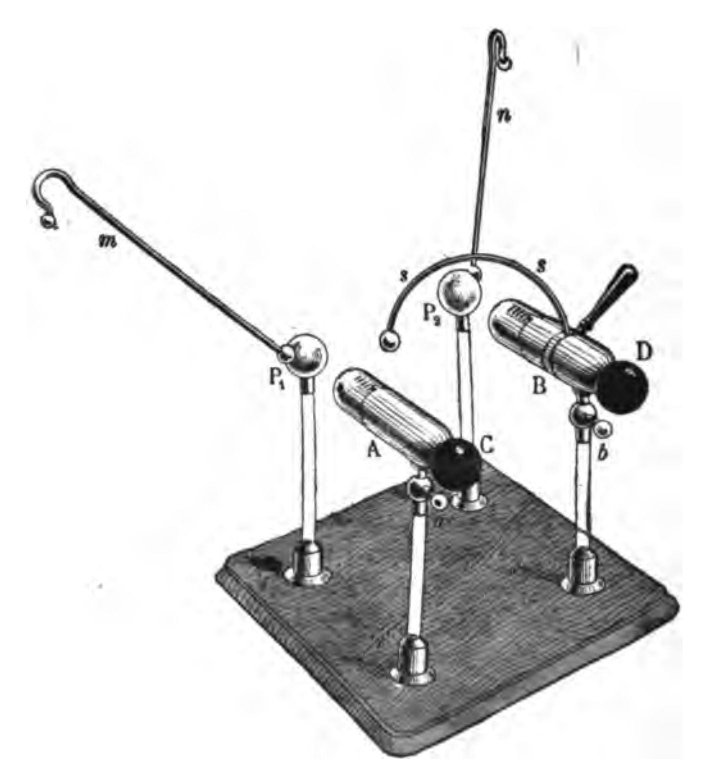


Fig. 16.

auf den Zylindern aufgezeichneten Nonius leicht abgelesen werden. An den Schrauben a und b werden die Ableitungsschnüre zum Isolierschemel mit dem Patienten und zu der aktiven Elektrode befestigt. Ein krummer Stab SS mit Ebonithandgriff, beweglich, dient als Kurzschluss oder als Entlader. Die Messung geschieht folgendermassen: Der Apparat wird, wie oben gesagt, eingeschaltet — nur ist zuerst durch den Kurzschluss der Kranke aus dem Strome gehalten. Die Maschine wird in Gang gesetzt und während des Betriebes werden die Metallzylinder langsam

von den Kollektoren entfernt: da entsteht ein reichliches Funkensprühen in der Luftstrecke P_1A, resp. P_2B, welches mit der Entfernung an Breite abnimmt und an Schlagstärke zunimmt. Hat man die maximale Distanz erreicht, in welcher der nunmehr einzig entstehende Funkenstrahl noch kontinuierlich ist, so liest man am Nonius die erreichte Funkenstrecke ab. Diese ist das Mass der Spannung:

Eine Funkenlänge von	0,18	0,7	5	12,2	15,6	16,5	17,1	18,8	mm
entspricht einem Potentiale von	1000	2000	5000	9000	12000	13000	14000	15000	Volt

Hat man das Mass genommen, so wird der Kurzschluss unterbrochen, dadurch kommt der Patient in den Strom und die Zylinder werden so lange gedreht bis vollkommene Berührung zwischen ihnen und den Kollektoren entsteht. Will man eine bestimmte Stromrichtung haben, so ist es nützlich, in diesem Augenblicke die Pole zu kontrollieren, weil, da die Messung einen oszillierenden Wechselstrom hoher Frequenz in Gang setzt, manchmal durch dieselbe bei den autoexzitatorischen Maschinen ein Polwechsel entsteht.

Durch diesen Vorversuch gelingt es mir, bei jeder Witterung und jedwedem Reinlichkeitszustande der Maschine mit konstantem Potentiale zu arbeiten. Meistenteils lade ich den Patienten mit einer 16 mm Funkenlänge (ohne Kondensatorplatten) entsprechenden Spannung. Bei trockenem Wetter und frisch gereinigter Maschine erreiche ich sie mittels einer Scheibenbewegung von 180 Umdrehungen in der Minute. Bei atmosphärischem Dunste oder bei etwas schmutzigem Stanniolbelage lasse ich die Umdrehungen so weit beschleunigen, bis der Nonius des Franklinometers die oben genannte Ziffer zeigt und lasse hierauf bei dieser Geschwindigkeit beharren. Der jetzt immer mehr in Gebrauch kommende Motor mit elektrischem Betriebe dürfte auch zum Fixieren der Geschwindigkeit von Nutzen sein. Aber auch bei Gebrauch einer einfachen Drehkurbel kann man leicht den drehenden Saaldiener zu einem gleichmässigen Gange anhalten, besonders bei den schweren Glasscheiben.

Werden die Zylinder und die Kollektorkugeln nicht in metallische Verbindung gebracht, so arbeitet man mit Wechselstrom: dadurch kann man Mortonsche Schläge hervorrufen ohne den Gebrauch von Kondensatoren: Die Länge der Luftstrecke ist dabei für die Höhe der Spannung verantwortlich, dabei wird das Franklinometer auch als Widerstandsdetonator oder als Spinterometer benützt. Mund selbst hat es aber dazu auch mit Franklinischen Tafeln armiert, welche aus Hartgummi verfertigt sind, auf deren Vorder- und Rückseite ein rechteckiges Stanniolblatt aufgeklebt ist.

Stanniolstreifen vermitteln die Zuleitung zu den Kugeln P_1 und P_2. Drei solcher Tafeln von verschiedener Kapazität waren den ersten Modellen[1]) beigegeben. Mund selbst äussert sich darüber: „Es gibt auch einen praktischen Grund, warum es wünschenswert erscheint, den gleichen Effekt das eine Mal mit kleineren, das andere Mal mit grösseren Kondensatoren zu erreichen. Da nämlich die mechanische Kraft der Entladung (ekphorische Wirkung) vorzüglich abhängt von der Höhe der bei der Entladung ausgeglichenen Potentialdifferenz, so erscheint es zweckmässig, kleine Kondensatoren dort zu verwenden, wo man neben der reinen Muskel- oder Nervenreizung noch eine ekphorische Wirkung beabsichtigt (bei Anwesenheit entzündlicher Exsudate oder bei Ödemen innerhalb der Muskeln). Das ist aber wieder, wie ich schon im elektrodiagnostischen Kapitel hervorgehoben, nur Hochfrequenz, wobei die statische Maschinerie nur Energiequelle zu deren Betrieb leistet und nicht franklinischen Strom zum Patienten bringt und dadurch ausserhalb unserer hierortigen Betrachtungen zu stehen kommt.

Falls wir nunmehr unsere Aufmerksamkeit auf die praktische Seite der Franklinisation lenken wollen, so müssen wir vorerst berücksichtigen, wie wir uns in den Stand setzen, den Patienten unter deren Einfluss zu bringen. Das Bestreben der Spannungselektrizität, baldigst durch gute Leiter den Erdboden zu erreichen, und die Tatsache, dass für sie die meisten Körper, mit Ausnahme von Glas, Ebonit, Wolle und Seide und trockener Luft gute Leiter sind, zwingt uns, wie die Stützapparate der verschiedenen Teile der Rotationselektrophore, so auch den Patienten zu isolieren. Das geschieht mittelst Isolierschemel. Solche bestehen gewöhnlich aus Holzplatten, welche auf Glasfüssen gehalten werden. Die übermässige Furcht vor jeder Kondensation hatte Arthuis auf die Idee gebracht, den ganzen Schemel, wie auch den darauf zu stellenden Stuhl aus Glas zu verfertigen. Eine Zeitlang, solche Vorschläge annehmend, liess ich den Kranken auf einem leichten Sessel, dessen Füsse in Kautschukringe eingezwängt waren, sitzen und seine Beine auf eine faustdicke Glasplatte, die durch Glasfüsse vom Boden entfernt gehalten wurde, legen. Ich fand aber dabei, dass man die gewünschte Ladung schwerer erreichen konnte, als mit den gewöhnlichen Isolierschemeln. Das bewog mich noch mehr, dieselben als gewünschte Kondensatoren zu betrachten, und zu einer Zeit, wo solche nur mit kleinem runden Stanniolbelag bedeckt wurden, liess ich mir eine dickere, abnehmbare Metallplatte (aus Messingblech) konstruieren, welche ich meistens unter den Sessel legte, um eben eine grössere Ladung während der Applikation zur Verfügung zu haben. Nachher haben die meisten Fabri-

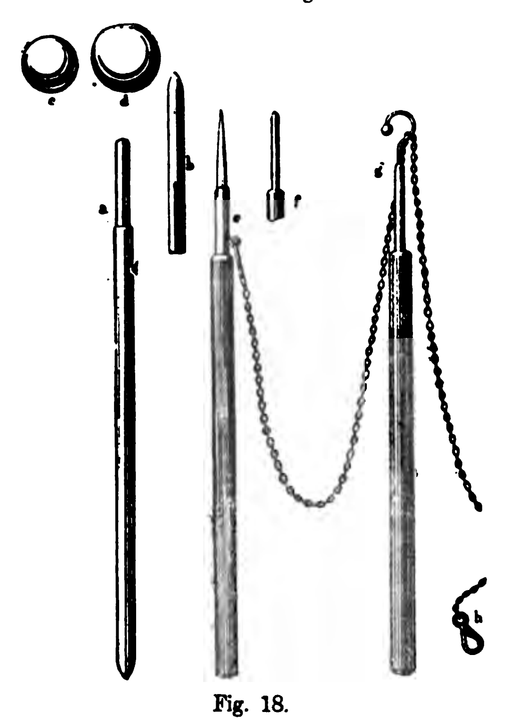
[1]) Dr. Mund hat, nach seinen Privatmitteilungen, die Firma Reiniger, Gebbert & Schall in Erlangen bewogen, ein verbessertes Modell zu konstruieren.

kanten den runden Stanniolbelag mit einer grossen, die ganze Oberfläche des Schemels einnehmenden Zinkplatte substituiert und ich betrachte dies entschieden als einen Fortschritt.

Der Patient kommt in Verbindung mit der Maschine entweder durch Metallketten oder durch mit Isoliermasse zugedeckte Metallfäden oder noch besser durch Metallstäbe. Die Ketten verursachen einen grösseren Elektrizitätsverlust, sie werden deswegen nur dort gebraucht, wo ihre Biegsamkeit sie aufnötigen, wie z. B. um den Elektroden, welche dem Kranken gegenübergestellt werden, eine rasche Beweglichkeit zu gewähren (Fig. 17 ca C), während man für die ständige Verbindung den Metallstab (Fig. 17 *A*) vorzieht. Der Metallstab endet in einem Haken, um ihn leichter an den Kollektoren (Fig. 8) aufzuhängen, dessen Spitzen aber kugelförmig aufgetrieben sind, um die Spitzenausströmung der Elektrizität zu verhindern; so ist auch das andre freie Ende des Stabes mit einer Metallkugel versehen. Alle Haken überhaupt, auch jene, die an den Elektrodengriffen (welche aus Glas oder Ebonit bestehen) zum Aufnehmen der Kette vorhanden sind, werden dieselben sphärischen Endigungen haben. (Fig. 18g.)



Fig. 17.


Fig. 18.

Von Elektroden müssen wir eine Reihenfolge verschiedener Formen besitzen: kugelförmige, um Funken zu entziehen, und zwar grössere und

kleinere, um dadurch die Gegenladung höher oder niedriger zu gestalten und so kräftigere oder schwächere Funken schlagen zu lassen. Dieselben schwanken in der Grösse zwischen einer Karambolkugel bis zum Metallknopf: um den unnützen Übertreibungen vorzubeugen, kann man sich mit je einer von 4.5, 3.5 und 1.5 Zentimeter Durchmesser begnügen. Dies sind auch die Formen, die die Fabriken gewöhnlich liefern, falls man nicht spezielle Anfragen stellt. Dann brauchen wir spitze Elektroden. Es gibt nadelförmige wie die auf Fig. 18 abgebildete, und fingerförmige mit konischem Ende; letztere sind besonders von Arthuis empfohlen und bewähren sich sehr gut in der Praxis wegen der grösseren Oberfläche; man kann sie, um diese noch zu erweitern, in eine Kugel stecken. Bonnetti liefert eine kugelförmige Elektrode (Fig. 18, die erste links), die mit einem Seitenloch versehen ist, in welches ein solider Metallfinger befestigt werden kann und zwar hat dieser kurze Metallstab zwei Spitzen, die eine fein konisch zugespitzt, die andere mit etwas stumpfem Ende, um das Funkensprühen nach Belieben regeln zu können; durch das Einstecken in die Kugel ist jedesmal nur je eine Spitze verfügbar. Alle diese können entweder in der Hand des behandelnden Arztes gehalten oder auf einem isolierten Ständer fixiert werden. (Fig. 19.)

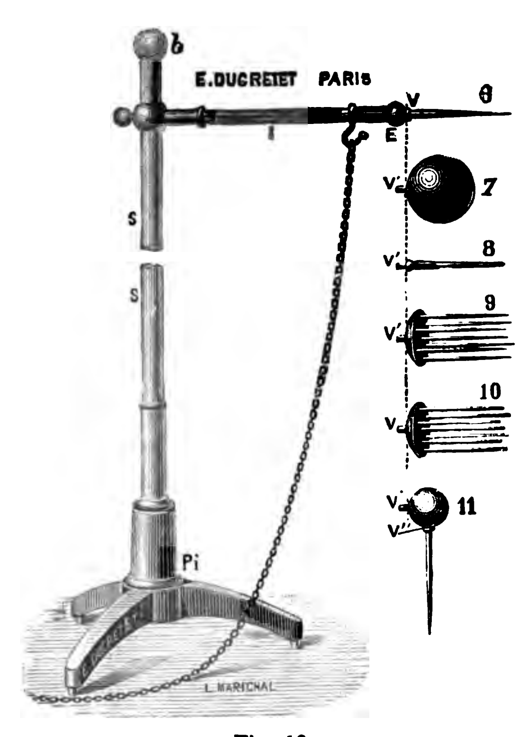


Fig. 19.

Da die Grösse des Funkens oder die Stärke des Windes von der Entfernung der Elektrode vom Patienten abhängt, so sind einige Elektrotherapeuten auf die Idee gekommen, diese genau von vornherein regeln zu können, ohne sie von der manchmal schwankenden Haltung der Hand abhängig zu machen. So haben Boudet, Morton, Roumaillac und zuletzt Bergonié eine Elektrode konstruieren lassen, in welcher eine Kugel direkt auf den Körper des Kranken angelegt wird, diese metallisch

verbunden mit einer anderen Kugel, die in einem isolierenden Ebonitrahmen fixiert ist; innerhalb des Rahmens mit Schraubengange (Siehe Fig. 15, S. 60) regulierbar bewegt sich eine andere Kugel, die mit dem Pole der

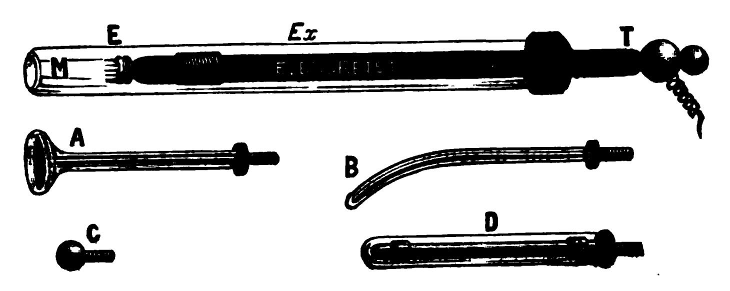


Fig. 20.

Maschine in Verbindung gebracht wird. Die Entfernung der Kugeln entspricht der Stärke des Funkens. Zum Regeln des Windes ist eine Glasröhre am Körper des Patienten angelegt, innerhalb welcher die Spitzenelektrode (nach Doumer [siehe Fig. 20 E]) genau messbar genähert und entfernt werden kann.

Ähnliche Elektroden liefert auch die wohlbekannte auf dem Gebiete der Elektrotechnik rühmlich sich hervorhebende Firma Reiniger, Gebbert & Schall in breiterer Form und mit mehrfachen Spitzen, wodurch man auf einer beliebigen Körperfläche eine Windwirkung ausführen kann (Fig. 21).

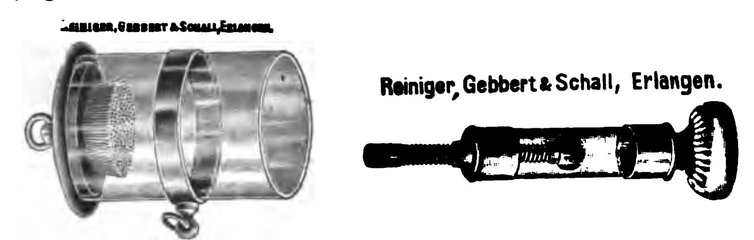


Fig. 21.

Roycourt hat die verschiedenen Exzitateure in einer Schachtel vereinigt (Fig. 22).

Eine Elektrode, welche bei der Franklinisation sehr nützlich ist, ist die Kopfglocke. Die meinige hat die Form eines chinesischen Hutes aus dünnem Messingblech konstruiert und ist im Mittelteile im Innern abgeflacht, auf welcher Stelle ich sieben nadelförmige Stäbchen einschrauben kann. Von den Spitzen und vom scharfen Saume der Glocke kommt der elektrische Hauch reichlich auf den Kopf des Patienten. Sie ist auf

einem isolierenden Ständer fixiert (Fig. 23) und kann mittels Ketten mit dem Pole der Maschine in Verbindung gebracht werden. Andre Autoren und Fabrikanten haben statt deren zweierlei Kopfelektroden konstruieren lassen, die eine mit abgerundetem Rande, falls man grössere Spannungskonzentration wünscht, die andere mit vielen sehr spitz zulaufenden Nadeln, falls man raschere Strombewegung durch die Körper wünscht. (Fig. 8, S. 20.) Mit meiner Glocke kann ich beide Wirkungen erreichen, je nachdem ich die inneren Nadeln ein- oder abschraube. Arthuis und Vigouroux, welche überhaupt gegen alle Kondensatoren sind, finden, dass die Kopfglocke



Fig. 22.

diese Rolle zu leicht übernimmt und dass man sie deswegen vollständig abschaffen soll.

Truchot hat dieserhalb seine spinnenförmige Kopfelektrode eingeführt. Diese besteht aus einem kleinen Knopfe, aus welchem acht bis zwölf krumme, spitz endende Metallbeine heraustreten, die in einer gewissen Entfernung den Kopf umgeben sollen (siehe Fig. 24). Ich kann die Meinung Arthuis und Vigouroux nicht teilen; in vielen psychischen Zuständen und ganz besonders bei Schlaflosigkeit der Neurastheniker erzielt man so günstige Resultate beim Gebrauch der Kopfglocke, dass kaum ein auf physikalischer Grundlage behandelnder Nervenarzt sie wird entbehren können.

Das Holz ist für die statische Elektrizität auch ein Leiter, aber ein schlechterer als Metall: man hat auch aus diesem Materiale Elektroden konstruiert mit der Idee, die Wirkungen dadurch abzudämpfen, zu graduieren. Sie haben sich in der Praxis nicht bewährt; ihre Leistung ist zu gering, fast gleich Null, und ich glaube kaum, dass sie noch auf dem Markte zu finden seien.

Die Applikationen der statischen Elektrizität auf den kranken Organismus können sehr verschieden sein. Wir wollen sie alle nach einander

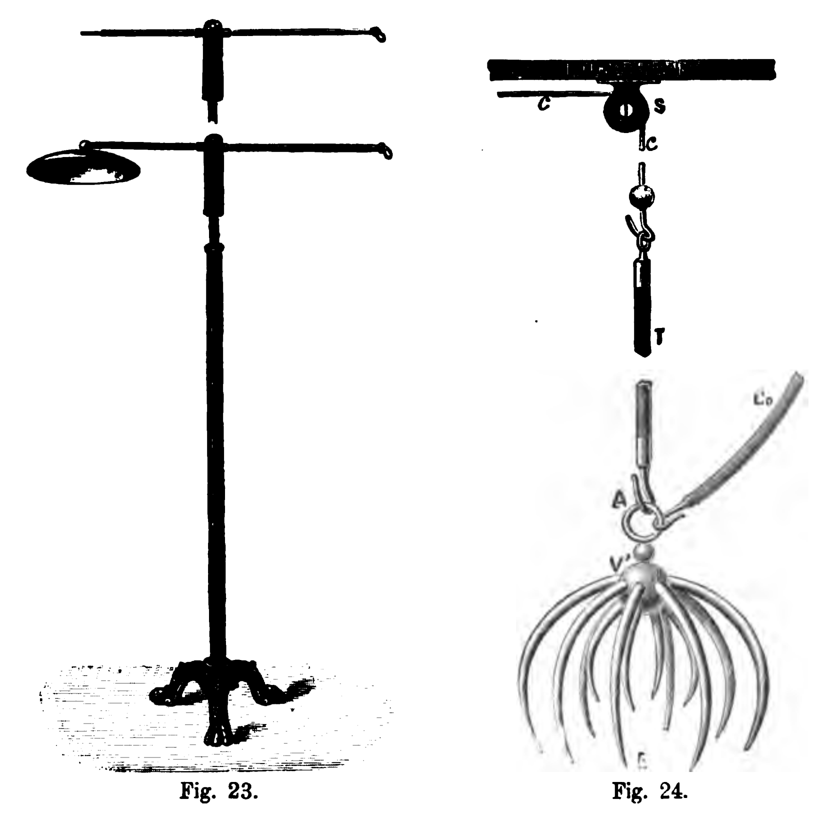


Fig. 23. Fig. 24.

beschreiben und mit dem sogenannten elektrischen Luftbade oder franklinischen Bade beginnen.

Es wird ausgeführt, indem der auf dem Isolierschemel sitzende Patient mit einem Pole der Elektrisiermaschine in metallische Verbindung gebracht (siehe Fig. 17, S. 67) und mit Elektrizität geladen wird. Der andre Pol entladet sich in die Luft und sättigt somit die Umgebung der isolierten Person mit entgegengesetzter Spannung. Aus der ganzen Körperoberfläche des Patienten strömt die Elektrizität, wobei sie sich in mechanische

Repulsion umändert; wie das deutlich aus dem Haarsträuben und aus den subjektiven Gefühlen, die auf der unbedeckten Haut empfunden werden, zu ersehen ist. Letztere bestehen entweder in der sog. Gänsehaut, oder in einem Gefühle von sanfter breitflächiger Berührung, wie wenn man z. B. mit dem Gesichte in ein freihängendes Spinnengewebe hineingerät. Wenn man diese Applikation über 5 Minuten verlängert, tritt ein Gefühl von allgemeiner Wärme auf, manchmal mit Pulsbeschleunigung, bei sanguinischen Personen mit Kopfkongestionen und sogar Kopfschmerzen. Charcot sah, nach Angabe P. Vigouroux[1]), dass hysterische Frauen nach einem franklinischen Bade von 20 Minuten Dauer sofort die Empfindlichkeit für Farben, die verloren gegangen war, und das normale Hautgefühl wieder erlangten. Ich pflege bei jeder neuen Behandlung zwei oder drei Tage nacheinander das einfache Bad zu applizieren, ohne andre Gegenreize, um dadurch die Reaktionsweise des Kranken zu prüfen. Ich habe nun bemerkt, dass alle körperlich oder zerebrasthenisch psychisch erschöpften Kranken dabei ein besonderes Wohlgefallen empfinden, welches von ihnen manchmal als Beruhigungsgefühl gedeutet wird; dass dagegen bei sehr reizbaren Kranken Blutwallungen in den Kopf und Muskelschwäche bemerkt werden, was uns die Behandlung aufzugeben nicht nötigen, sondern nur anzeigen soll, dass wir mit grosser Vorsicht vorgehen und uns mit kurzen Sitzungen und ohne Funkenreize begnügen müssen.

Dabei ist ziemlich einerlei, welchen Pol wir zum Kranken führen. Manche Autoren haben auch hier Anoden- und Kathodenwirkung bemerken wollen: das alles sind nur theoretische Spekulationen, höchstens könnte man sagen, dass die positive Polwirkung kräftiger als die negative ist; aber bei Behandlung mit grossen Maschinen, die genügende Elektrizitätsmengen produzieren, ist auch dieser Unterschied nicht auffallend.

Prof. Breitung[2]) in Koburg hat sich, um dem durch die gewöhnlichen Behandlungsmethoden bedauerten Elektrizitätsverluste entgegenzusteuern, ein „Receptaculum“ („Pavillon“ bezeichnet er es) aus Holzlatten konstruieren lassen, in welches der Kranke mittels einer Türe eingeführt wird. Unter diesen Pavillon wird eine Gummiplatte gelegt, auf welcher der Patient steht oder sitzt. Auf den umgebenden Holzstäben laufen Metallleisten auf Porzellanisolatoren befestigt herum und sind diese so eingerichtet, dass man in Entfernung von 15 zu 15 cm Metallspitzen einschrauben kann. Werden diese mit einem Pole der Maschine

[1]) l. c. Seite 45.

[2]) Prof. Dr. Breitung. Über allgemeine konzentrische Franklinisation in der ärztlichen Praxis. Wiener klin. Wochenschrift. 1900. No. 37. S. 829.

in Verbindung gebracht, so entsteht eine konzentrische Ausströmung auf den Patienten hin, ungefähr wie das bei der Pavillonwasserdouche stattfindet. Dadurch ist es nicht nur möglich, eine grosse Menge Elektrizität auf den Kranken zu leiten, sondern man kann auch streng monopolär behandeln, was nach Breitungs Auffassung sehr wichtig ist, da er die Meinung hegt, dass Neurastheniker von Haus aus mit — Elektrizität überladen sind und dass sie deswegen von negativen Strömen erregt, von rein positiven dagegen neutralisiert und beruhigt werden. Vorsichtiger Weise fügt er hinzu „alle diese empirischen Tatsachen harren noch einer bündigen Erklärung".

Es ist überhaupt bestritten worden, ob das franklinische Bad therapeutische Wirkungen haben könne oder nicht. Die Theoretiker der Suggestivwirkung der Elektrizität haben behauptet, eben diese Wirkung sei am grössten bei der Influenzmaschine wegen ihrer auffälligen Form, wegen des Knisterns und des Funkenlärms usw. Meine eigenen Beobachtungen deuten auf Einfluss auf die Zirkulation, auf Wärmegefühl in der Haut, auf sanfte oberflächliche Hautreize, alles Faktoren, die ohne Suggestion und ohne Neutralisation als Beruhigungsmittel zu wirken fähig sind. Somit teile ich die Auffassung, dass die Effekte, die wir erzielen, mit den Gesetzen der Elektromechanik ganz gut erklärt werden können.

Grössere Leistungen können wir erzielen, falls wir dem allgemeinen Bade den franklinischen Wind hinzufügen. Mit diesem können wir zugleich die gewünschte Wirkung genau lokalisieren. Man nennt diese Applikation Wind oder Hauch, weil der Patient das Gefühl hat, als ob man auf seine Haut blasen würde. Hervorgebracht wird er dadurch, dass man eine oder mehrere Spitzen (mittels der Spitzenelektroden) dem isolierten und geladenen Patienten bis auf eine gewisse Entfernung nähert. Wird die Metallspitze zu nahe gehalten, so empfindet er statt dessen Prickeln und Brennen. Diese Spitze kann entweder in der Hand des nicht isolierten Arztes in leitender Verbindung gehalten oder mittels Metallkette zum Boden geleitet werden (Fig. 17). Will man die höchste Leistung der Maschine in Anspruch nehmen, so kann man sie auch mit dem anderen Pole in Verbindung bringen. Kleine Unterschiede sind bei diesen Applikationen vorhanden. Die Leitung durch den menschlichen Körper ist rascher und vollkommener, somit ist der Wind stärker und gleichmässiger. Die langen Ketten geben immer Elektrizitätsverlust in die umgebende Luft und leiten somit mit sanfterer Spannung zur Stelle. Das hat schon Marat hervorgehoben und in der Tat verhält sich die Sache so. Auch die Form der Spitzen hat ihre Wichtigkeit und wir haben schon oben gesehen, dass Arthuis, um grössere Kapazitäten und

somit höhere Elektrizitätsmengen ins Spiel zu setzen, die nadelförmigen Elektroden vergrösserte und sie dick und konisch zulaufend gestaltete.

Der Wind hat auch eine lindernde Aktion auf die Stelle, auf welche er gerichtet wird, und wir können uns dessen bedienen, um schmerzhafte Punkte, Neuralgien usw. zu besänftigen.

Auch die Wirkung der Kopfglocke ist im Grunde genommen nur eine Hauchwirkung und eben deswegen bevorzuge ich dieselbe mit scharfen Rändern. Die Kopfplatte mit umgerandetem Saume, die von manchen gebraucht wird, hat nur Kondensationswirkung und kann die gewollte Beruhigung nicht leisten — man riskiert statt dessen gelegentlich unangenehme Shockeffekte durch ungewolltes Funkenspringen und kann eigentlich nur bei der oszillatorischen Franklinisation gebraucht werden.

Nähern wir dem Körper des isolierten Patienten eine spitze Elektrode um einige Millimeter, so verändert sich das Gefühl von Hauch in ein solches von Prickeln und Stechen, wobei wir an der Spitze selbst Lichterscheinungen bemerken und Knistern zu hören bekommen. Das Lichtbüschel hat (es ist natürlich im Dunkeln deutlicher zu unterscheiden) polare Charaktere; es ist entweder ein violetter Strahlenpinsel fächerförmig ausgebreitet oder eine gelblich glimmende Krone, aus welcher einzelne geradlinige Strahlen zum Körper überspringen, je nachdem die Spitze mit dem positiven oder negativen Pole in Verbindung steht; falls wir selbst die Elektrode in der Hand halten (mit Erdableitung), so ist der in ihr entstehende Pol der entgegengesetzte desjenigen, der den Patienten ladet. Die Franzosen benennen diese Behandlungsmethode électrisation par aigrettes. Man könnte sie Büschelentladung oder, wenn man das Gefühl des Patienten berücksichtigen will, elektrisches Prickeln nennen. Die Hautwirkung dieser Behandlung ist deutlich, man bekommt nach wenigen Minuten, nach einer kurzdauernden Blässe, eine circumscripte Rötung, ähnlich wie jene, die durch ein Senfpapier hervorgerufen wird; und eben diese genau zu lokalisierende periphere Gefässparalyse gibt ihr einen grossen ableitenden Wert. Sie wirkt sehr nützlich bei hysterischen Anästhesien; man kann aber auch Tiefenwirkung erzielen, so z. B. bei der habituellen Stuhlverstopfung, wo das Prickeln längs des Colon descendens gewöhnlich eine Stuhlentleerung innerhalb einer Stunde mit fast absoluter Sicherheit hervorruft. Auch bei nervösem Herzklopfen habe ich davon günstige Resultate gesehen.

Ähnlich aber kräftiger ist die Wirkung, wenn wir mittels einer Kugelelektrode auf einem auf die gewünschten Hautstellen gelegten Wolltuche reiben. Diese isolierende Zwischenlage verhindert, dass zwischen

Elektrode und menschlichem Körper eine direkte Erdleitung entstehe; sie fixiert durch ihre Dicke genau die Entfernung zwischen Kugelelektrode und Haut, erlaubt einen gewissen Druck auf Haut und Muskel auszuüben, ohne dass leitende Berührung Platz nehme und gestattet zugleich die Labilität der Elektrode, welche auf demselben auf- und abgerieben wird. Eben deswegen wird diese Methode elektrische Massage genannt. Sie ist eine der besten Methoden zur Behandlung des Abdomens bei Stuhlträgheit, was wieder deren Tiefenwirkung beweist. Ich kann nicht umhin, hie und da wieder darauf zu kommen, um der von vielen Autoren wiederholt vertretenen Idee zu steuern, dass die statische Elektrizität exklusiv oberflächlich, planimetrisch sich kundgebe.

Um Funken hervorzulocken, nähern wir eine unbedeckte Metallkugel (mit Erdleitung) dem isolierten Patienten: je nach der Kapazität der Kugel und der Entfernung derselben entsteht ein geringerer oder heftigerer Funke. Natürlicherweise gibt es eine gewisse Proportion zwischen diesen zwei Faktoren, mit kleinen Kugeln können wir in geringer Distanz kleine Funken haben, in grösserer entsteht nur eine nicht fühlbare Irradiation, mit grossen Kugeln können wir in der Nähe gehalten eine salvenförmige Folge kleiner Funken haben, entfernt gehalten, einzelne aber kräftige Funkenentladungen erzielen. Dadurch können wir die einzelnen Körpermuskeln zur Kontraktion bringen, indem man die Funken auf die sogen. motorischen Punkte springen lässt und erreichen zugleich während des allgemeinen franklinischen Bades eine Art lokalisierte Faradisation, die sehr wohltuend wirkt. Sie kann sowohl als Reizmittel für einzelne geschwächte Muskelgruppen in Verwendung gebracht werden, als auch durch passive Gymnastik die organischen Zellen zur grösseren Tätigkeit anspornen. So bediene ich mich dieser Methode mit günstigen Resultaten bei der Behandlung des Diabetes, bei Gicht und Uricaemie.

Bisher haben wir die Art besprochen, die Elektrizität auf den isolierten Patienten zu leiten und wirken zu lassen. Wir können aber auch umgekehrt handeln: während der Patient in gewöhnlicher Lage somit in Erdleitung gelassen wird, können wir ihn mit einer isolierten Elektrode angreifen. Die Aktion ist aber viel beschränkter und die Methode, die die Franzosen procédé inverse nennen (Cavallo 1785) wird fast gar nicht mehr gebraucht. Ich bediene mich ihrer nur hie und da, und zwar wenn ich äusserst ängstliche Patienten vor mir habe, die den Isolierschemel mit Bangen betrachten. Da ist keine Furcht, dass von seinem Körper irgend ein Funke entspringen könne. Er sitzt ruhig auf dem Sessel und mit der isolierten Elektrode bringe ich den Wind auf die neuralgische Stelle. Oder bei Fällen, wo ich mehr Gewicht lege

auf die Ozonwirkung als auf die Elektrizität selbst, wie bei Asthma nervosum, Reizzuständen im Halse und ähnliches, da lasse ich den Kranken vor einer mit dem positiven Pole der Maschine in Verbindung gesetzten, auf Glasfuss befestigten Metallspitze atmen.

Hiermit habe ich die therapeutischen Anwendungsweisen des franklinischen Stromes sensu strictiori erledigt. Ich muss aber doch einige Worte den mittelbaren Wirkungen desselben widmen, obwohl diese, wie ich schon einige Male Gelegenheit hatte hervorzuheben, nur Hochfrequenzoszillationen sind, in welchen die statische Elektrizität nur die Quelle einer von Grund aus hochgespannten Energie ist, einerseits, weil wir gewöhnt sind, die sogenannten dunklen Entladungen und die Mortonschen Ströme z. B. in diesem Kapitel zu behandeln, andrerseits, weil noch manche Elektrotherapeuten Applikationsweisen gebrauchen, die sie in gutem Glauben für Franklinisation halten, worüber ich eben Klarheit schaffen will. Die allgemein üblichste von diesen besteht darin, dass die Elektrisiermaschine mit zwei Leydenerflaschen armiert ist, deren äussere Stanniolbeläge metallisch mit einander verbunden sind. Von den inneren Armaturen geht eine Leitung zum Isolierschemel, die andere zu einer isolierten Handelektrode. An den Kollektoren selbst (die in diesem Falle wie gesagt mit der inneren Flaschenfläche in metallischem Zusammenhange sind) sind zwei Metallstäbe so angebracht, dass ihre knopfförmigen Enden genähert und entfernt werden können. Während die Maschine im Gange ist, werden diese Kugeln in solche Distanz gebracht, dass zwischen ihnen ein rapides Funkenspiel entsteht, wodurch wir einen Spinterometer in Nebenschluss einführen; der dabei in leitender Verbindung im Hauptschlusse stehende Kranke wird rasch geladen und entladen. Durch grössere Entfernung der Kugeln sind die Entladungen zeitlich so getrennt, dass man sie zählen kann. Der Kranke untersteht dabei aber immer einer periodischen, wenn auch nicht hochfrequenten Ladung und Entladung, somit nicht einem Strome, sondern einer Oszillation. Die Methode ist vielfach gebraucht, da aber die vielen Funken eine starke Ozonentwickelung hervorrufen, haben einige Autoren (z. B. Piccinino[1]) geglaubt, dass dabei das wichtigere die Ozonwirkung und nicht die Elektrizität sei.

Falls wir bei solcher Disposition die Spinterometerkugeln so entfernt von einander stellen, dass kein Funkenspiel stattfindet, so kondensiert sich die Elektrizität einerseits auf den Kranken, summiert mit dem Belage der einen Leydener Flasche, andrerseits auf den Belag der andren Leydener Flasche, der durch die Elektrode und Kette dem Patienten

[1]) F. Piccinino. L'aria ozonata nella cura della nevrastenia. Gli Incurabili. A. XIV, f. 6.

genähert gehalten wird. Die einzelnen Funken, die an letzterer Stelle entstehen, sind scharf und sehr schmerzhaft und können gelegentlich Gefässzerreissungen und Hautsuffusionen hervorrufen.

James Morton[1]) hat die Disposition so geändert, dass der Kranke nicht in Parellelleitung eingeschlossen wird, sondern an den äusseren Belägen der Kondensatorflaschen, welche in diesem Falle nicht mit einander verbunden sind. Die auf Fig. 10 abgebildete Kette ist in zwei Teile geteilt; der eine geht zur Elektrode, der andere entweder zum Isolierschemel oder auch zu Erdleitung, denn bei dieser Anwendungsweise ist Isolation des Kranken nicht notwendig. Zweck dieser Einrichtung ist, dass, wenn der Funke nicht schlägt, zum Kranken keine Spur von Ladung geht, wenn das Spinterometer dagegen arbeitet, eine entgegengesetzte Schwankung an der gewünschten Stelle im Gange gehalten wird. Dass dabei Wechselstrom entsteht, hatte schon Morton eingesehen, er hätte ja sonst nicht dessen Analogie mit der Faradisation hervorgehoben. Leduc hat dessen Identität mit den Hertzschen Wellen auch dadurch gezeigt, dass er, Marconis Telegraphiesystem nachahmend, den einen Pol in Erdableitung bringt, den andern in eine freie Stange enden lässt und nun dadurch um den Kranken ein elektrisches Oszillationsfeld hervorruft, was er der Société de Biologie im Jahre 1893 darstellte.

Ich bediene mich auch zum Zwecke der Mortonschen Oszillationen des Mundschen Apparates und zwar ohne Kondensatoren. Die Luftschicht zwischen den Kollektorkugeln und den mit dem Kranken in Verbindung gesetzten Metallzylindern ist das Kohibens, welches die Länge und Stärke des Funkens regelt. Da der Kranke eben nur mittelst der Funkenoszillation und nicht direkt mit der Maschine in Verbindung kommt, so erreicht ihn keine statische Ladung, es wird ihm nur die schwankende Oszillation mitgeteilt. Ich habe auch direkt kontrollieren können, dass ein kontinuierlicher Polwechsel entsteht. Wenn ich den isolierten Kranken mit einem Zylinder des Mundschen Apparates und die Kopfglocke mit dem anderen verbinde und während des Funktionierens dem Rande der Kopfglocke die gehörig erwärmte Benzinlampe nähere, so gerät diese in Brand und wird rasch ausgelöscht und das wiederholt sich natürlich nicht mit der Raschheit der Hochfrequenz, aber mit absoluter Konstanz.

J. Estrany[2]) in Barcelona führt noch eine Anwendungsweise in

[1]) J. Morton. The franklinic interrupted current or my new system of therapeutic administration of static electricity Medical Record. Dez. 1901. Siehe auch Rouxeau in Archives d'électricité médicale. 1895. No. 1.

[2]) J. Estrany de Barcelone. Électricité statique sinusoidale a basse fréquence. Archives d'électricité médicales expérimentales et cliniques. 15. février 1899. No. 74. pag. 60.

die Therapie ein, welche nach seinen bisherigen Versuchen noch kräftiger reizend als das allgemeine statische Bad wirkt: der Puls wird dabei frequenter, die Atmung beschleunigt, die Haut rötet sich und es tritt Schwitzen ein: bei über halbstündiger Sitzung tritt Müdigkeit und Gefühl von Betäubung im Kopfe auf.

Er nennt sie sinusoidale Alternanz mit niedriger Frequenz und bringt sie dadurch zustande, dass er einer Bonettischen Maschine ohne Metallbelägen einen Saugkamm und eine von den 4 Reibbürsten entfernt, nachdem sie schon geladen und im Gange war. Dadurch sammeln sich am anderen Saugkamme mit einer Periode die gleich der Drehgeschwindigkeit ist (bei 150 Umdrehungen in der Minute 150 Stromalternativen), beide Stromesarten, was sehr deutlich im Dunkeln kontrolliert werden kann. Man sieht dabei gegenüber den Bürsten positive Ausstrahlungen mit steigender Länge und wachsendem Knistern, sofort nimmt die Länge ab, die Bürstenbärte decken sich mit punktförmigen Lichterscheinungen, die anschwellen und wieder kleiner werden, um wieder dem steigenden und sich vermindemdem Lichtbüschel Platz zu machen. Wenn wir eine Geisslersche Röhre damit in Verbindung bringen, bemerken wir auch an diesem den graduellen Polwechsel. Aus allen diesen Beobachtungen und aus den Messungen mit dem Blattelektroskop glaubt Estrany, dass die Form dieses statischen Wechselstromes die sinusoidale sei. So weit mir bekannt ist, hat kein anderer Experimentator oder Therapeut diesen Weg betreten.

IV.

Wie aus dem historischen Rückblicke zu ersehen ist, hat es früher Ärzte gegeben, welche alles lediglich mit der Elektrizität behandelten und Ärzte, welche sich niemals der Elektrizität bedienten. Nunmehr haben die genauen Untersuchungen auf physiologischem Gebiete dargelegt, was dieses Agens zu leisten vermag und wir benutzen es nicht als vages Suggestivmittel oder als unerklärte Panacee, sondern mit der genauen Kenntnis, was wir damit erreichen wollen und können.

Solange die statische Elektrizität als einzige bekannte Form dieser Energie dastand, war der Elektrotherapeut natürlicherweise nur auf sie angewiesen. In der ungestümen Begeisterung für die neue Erfindung hat hierauf der Galvanotherapeut sie verschmäht und noch einmal der Faradotherapeut sie beide verleugnet. Die grossartige Erweiterung der Technik und unserer wissenschaftlichen Errungenschaften auf diesem Gebiete hat den engherzigen Spezialisten zerstört. Heutzutage gibt es kaum mehr einen solchen; es ist die physikalisch-diätetische Therapie, welche ihren Triumph feiert, und wir müssen zu gleicher Zeit sowohl

die Lebensweise unsrer Kranken, wenigstens so genau wie die Homöopathen, welche neben den Zuckerpillen sehr wichtige Verhaltungsregeln verschreiben, zu verbessern und zu leiten verstehen, als auch die physikalischen Mittel in ihrer ganzen Tonleiter von der dunklen strahlenden Wärme mitten durch die Sonnenstrahlen oder die Edison-Glühlampen zu den ultravioletten chemischen Ausstrahlungen, von den Kaltwasserübergiessungen zu den warmen Bädern, von der Bettruhe und der Massage zu den Turnübungen und den Förderungsbewegungen, von den magnetischen Feldern zu den Wechselströmen, von der strömenden zur oszillierenden Elektrizität beherrschen, damit wir jedem einzelnen Falle jene Behandlung zuführen, welche am sichersten und in kürzester Zeit ihn zur Gesundheit bringen könne.

In diesem grossartigen Zeughause hat die elektrostatische Maschine sich einen ehrenhaften Platz bewahrt. Es gibt ganze Krankheitsgruppen, in welchen sie vorzügliches leistet und zwar besonders bei allen funktionellen Neurosen und bei den Stoffwechselerkrankungen. Da diese beiden Gruppen dieselben sind, welche zugleich als das bevorzugte Tätigkeitsfeld der Arsonvalisation betrachtet werden, haben einige Autoren versucht, Indikationen zu bestimmen, in welchen Fällen die eine und in welchen die andere zu benützen sei. So hat z. B. Moutier[1]) hervorgehoben, dass die Neurastheniker mit arterieller Hypertension bessere Wirkungen von der Autokonduktion haben, während die mit Hypotension nur von der Franklinisation günstig modifiziert werden. Ich habe öfters auch Leute mit Aortenatheromasie mit der statischen Elektrizität behandelt und habe nach jeder Sitzung deutliche Abnahme der übermässigen Spannung bemerkt und mit dem Baschschen Sphygmomanometer gemessen (in einem Falle, den ich zuletzt behandelte, nahm nach jeder Sitzung der Radialispuls von 20 zu 17,5 Quecksilberdruck ab, während die Frequenz von 90—100 zu 80 sich verminderte). Andererseits habe ich auch versucht, bei neurasthenischen Angstzuständen die Arsonvalisation mit dem Kondensationsstuhle statt des statischen Bades zu benützen und habe dabei eher eine Verschlimmerung des Gemütszustandes der Kranken bemerkt. Nicht jeder Kranke reagiert in gleicher Weise und nicht für jeden ist dieselbe Behandlungsmethode am Platze; aber bei den obengenannten Krankheitsgruppen und bei funktionellen Neurosen, besonders mit Gemütsverstimmung, und bei torpidem Stoffwechsel habe ich meistenteils günstigere Resultate von der Franklinisation gesehen. Ich benütze sie auch bei

[1]) W. A. Moutier, Paris. Résultats thérapeutiques de la d'Arsonvalisation ou autoconduction. Comptes-rendus des séances du 2. Congrès international d'électrologie et de radiologie médicales. Berne 1903. pag. 630.

anderen Formen als Hilfsmittel, um den allgemeinen Zustand zu verbessern; so bei der Behandlung der essentiellen Impotenz gebrauche ich ausser der Galvanisation des Rückenmarkes noch das allgemeine statische Bad. So auch, falls ich speziell den Trophismus an einer Körperstelle reizen will, so z. B. kann man bei Alopecia areata ganz gut den Haarboden zu neuem Haarwuchs anspornen. Ich habe sogar gelegentlich beobachtet, dass bei jahrelang bestehender absoluter Kahlheit des Kopfscheitels (in Fällen, die monatelang wegen Nervenstörungen behandelt wurden) sich die Kopfschwarte allmählich mit Flaumhaar bedeckte.

Die Maschine, die ich gebrauche, ist ein Wimshurst-Bonettisches Modell mit einem Scheibenpaar von 70 cm Durchmesser. Ich besitze sowohl zwei Glasscheiben mit 29 Stanniolbelägen von mittlerer Grösse, um die Oberfläche zu vermehren, als auch zwei unbedeckte Ebonitplatten. Falls ich diese auf der Maschine montiere, werden auf den gekreuzten Bürsten je vier andere Bürsten angeschraubt, wodurch ich die neue Bonettische Modifikation nach Belieben herstellen kann. Bei gewöhnlichem Gange macht sie 180 Umdrehungen in der Minute; diese Geschwindigkeit kann leicht bis 300 gesteigert werden. Ich benütze bei der allgemeinen Behandlung nie Kondensatoren, vermeide überhaupt jedes Funkenspringen in der metallischen Leitung derselben, da ich als wichtige Massregel betrachte, bei der reinen Franklinisation immer Gleichstrom zu benützen. Am Mundschen Apparate gibt die Maschine bei gleichmässig ruhigem Gange einen Funken von 16,4 mm; somit ist die Spannung, deren ich mich gewöhnlich bediene, gleich 13000 Volts. Ich habe öfters bemerkt, dass bei rascherem Drehen und auch bei Detonatorwirkung im Nebenstrom die Neurastheniker die besänftigende Wirkung, die sie bei der eben beschriebenen Behandlung erhalten, nicht erreichen.

Nun halte ich es für nützlich, einige Krankheitsfälle anzuführen, die als Paradigmata dienen können sowohl bezüglich der Wahl derselben, als auch rücksichtlich der Methode, die in jedem einzelnen Falle anzuwenden sei. Ich beginne mit der ersten der oben erwähnten Hauptgruppen; mit den Stoffwechselerkrankungen. Es sind nicht viele Fälle, die mir da zur Verfügung stehen; solche Kranke bleiben noch zu oft im Tätigkeitskreise des Hausarztes, welcher keinen Antrieb hat, sie zu Spezialistenbehandlungen anzuweisen, solange der Zustand nicht eine verzweifelnde Chronizität erlangt hat.

Ich bemerkte aber oft Erscheinungen von Oxalurie bei Nervenkranken, die sich wegen der Neurasthenie an mich wandten und bei welchen schon vorher die gewöhnlichen diätetischen Massregeln eingeführt worden waren, ohne dadurch die Verlangsamung des Stoffwechsels voll-

kommen beherrschen zu können. Ich habe dabei nicht nur strengere Diät verordnet, im Gegenteil dieselbe allmählich relaxiert und täglich den Kranken das Franklinische Bad geniessen lassen. Dadurch konnte ich bei den nachfolgenden Urinuntersuchungen die Oxalatkrystalle immer sparsamer finden und zuletzt ganz verschwinden sehen.

I. Bei einem Falle von chronischer Arthritis deformans an den Zehen, die ich lokal mit Lithium-Kataphorese behandelt hatte, schritt ich noch zum Franklinischen Bade, um allgemeine Wirkungen zu erzielen. Der Patient kam drei Monate lang täglich eine Eisenbahnstunde weit zu mir und fühlte sich schliesslich völlig genesen.

Die Erfahrungen Charcots ermutigten mich auch zur Franklinisation bei Diabetes; dabei sah ich nie den Zucker aus dem Urin verschwinden. Was aber die Kranken konstant berichteten, war, dass sie während der Behandlung und manche Zeit danach, trotz des demonstrierbaren Zuckers, sich wohler und arbeitsfähiger fühlten, als mit dem zuckerlosen Urine während der strengen Diät. Einer von diesen gebrauchte einen Vergleich, den ich hier wiederholen will, weil er im Groben etwas sehr richtiges aussagt: der Diabetiker sei wie ein Eimer mit einem durchlöcherten Boden: Die Abstinenzkur mache ihm den Eindruck eines Verbotes, Wasser in den Eimer zu giessen — dabei tröpfelt nichts heraus, aber der Eimer werde hierdurch ein nutzloses Paradestück; die elektrische Kur verkleinere die Löcher, es tröpfle etwas heraus, aber man könne ganz gut den Eimer zum Wassertransport benützen. So sei es mit ihm: als abstinenter Diabetiker finde er keinen Zucker im Harne, dafür gehe es ihm aber nicht besser, er fühle sich ebenso schwach und krank als früher. Während der Franklinisation dagegen habe er seine Arbeitstüchtigkeit wieder erlangt.

Von den so behandelten Fällen will ich zwei besonders hervorheben.

II. Ein Hutmacher, J. M., 43 Jahre alt, Sohn langlebender gesunder Eltern, überhaupt aus gesunder Familie, kam zu mir im Februar 1893, da er seit Juni an allgemeiner Schwäche, Verdunkelungen des Gesichtssinnes, Mangel jeder Ausdauer bei der Arbeit, Charakterreizbarkeit litt, die ihm früher unbekannt waren. Eine Harnanalyse ergab damals 14 ‰ Zucker. Einer strengen Diät unterworfen, verschwand der Zucker vollständig nach wenigen Wochen, er fühlte sich aber trotzdem immer matt; seine abnorme Reizbarkeit war ihm von nicht geringem Schaden in den Geschäften. Als neues Phänomen traten während der exakten Diätkur reissende Schmerzen im Rücken auf. Trotzdem überdauerte er diese Behandlungsmethode bis zu Weihnachten, wo er sich von der Festtafel hinreissen liess, von allem etwas zu geniessen. Sofort zeigte sich der Zucker wieder und zwar sogleich mit 15 ‰. Wie er aber zur absoluten Fleischdiät, die ihm

verschrieben worden war, zurückkehren wollte, traten solche Magenbeschwerden und Ekel für Fleischspeisen auf, dass er sie aufgeben musste. Bei einer mässigen Diät, in welcher eigentlich nur Weissbrot, Zucker und Maccaroni gemieden werden, sonst von allem in mässiger Quantität genommen wird, hält sich der Zucker auf 15 pro Mille. Dabei ist das spezifische Gewicht 1032. Saure Reaktion. Phosphorsaure und chlorwasserstoffsaure Salze im Übermass, ebenso das Indican.

Der Kranke wird seit dem 28. Februar täglich einem allgemeinen Franklinischen Bade von 10 Minuten Dauer unterstellt. Dabei wird er angewiesen, die gewöhnliche Kost seiner Familie zu gebrauchen; nur soll er täglich ausgiebigen Stuhl, mittels salinischer Mittel, haben und alle 8 Tage eine genaue Harnanalyse ausführen lassen. Die erste Wirkung, wie natürlich zu erwarten, war eine Erhöhung des Zuckergehaltes im Urine, die salzigen Bestandteile nähern sich den normalen Zahlen, der Harnstoff ist sogar mangelhaft (nur 13 ‰), nur die harnsauren alkalinischen Salze sind vermehrt. Die absolute Gesamtmenge des Urins hat abgenommen, weil der Kranke nicht mehr an quälendem Durst leidet. Deswegen ist auch das spezifische Gewicht höher (1,042).

Die Behandlung wird fortgesetzt und der Kranke fühlt sich wohl, besonders hat das Schwächegefühl bedeutend abgenommen.

In der nächsten Analyse finden wir spezifisches Gewicht 1,035 und Zucker 22 ‰, Harnstoff 16 — andere Bestandteile normal.

Nach weiteren 8 Tagen spezifisches Gewicht 1033, Zucker 10 ‰, Erdphosphate und Harnstoff in Überschuss, andre Bestandteile normal. Ich füge dem allgemeinen Franklinischen Bade noch die Funkenwirkung hinzu, wodurch sukzessive die verschiedenen Muskelgruppen in Tätigkeit gesetzt werden.

Nach zwei Monaten Behandlung tritt wieder eine Zunahme des Zuckers bis 28 ‰ auf, zugleich etwas Aceton und Eiweiss.

Während dieser Zeit hatte der Kranke eine mittlere Dosis Zucker im Urine immer gezeigt (zwischen 9 und 18 pro Mille bei Franklinisation, ohne dieselbe bei gemischter Diät 28), hat aber trotzdem eine Ausdauer bei der Arbeit und ein Wohlbefinden gezeigt, welches er auch bei zuckerlosem Urine vermisste. Die Schmerzen im Rücken, die Schwere in den unteren Extremitäten, die allgemeine Reizbarkeit hatten alle aufgehört. Der Kranke, seiner Besserung zufrieden, unbesorgt der Zuckermenge, die noch vorhanden war, gibt die Behandlung auf. —

III. Auch folgender Fall dürfte als wichtige Stütze meiner Behauptungen gelten.

Eine 60jährige Frau leidet seit mehreren Jahren an Zuckerharnruhr. Ihre gewöhnliche Diät ist frisches Gemüse, Roggenbrot, Glutenmehlspeisen, Fleisch, Milchkaffee und es gelingt ihr dabei reine Analysen zu erhalten. Sie ist aber sehr naschhaft nach Gefrorenem und jedesmal, wenn sie davon geniesst, erscheint deutliche Bismuthschwärzung in der Böttgerschen Probe, die sie selbst fast täglich ausführt. Auch Aufregungen haben grossen Einfluss auf die Zuckerausscheidung. Gelegentlich eines heftigen Schreckens, von dem sie bei einem Erdbeben ergriffen wurde, stieg der Zucker auf 68 pro Mille, trotzdem sie in ihrer Diätetik absolut keine Veränderung eingeführt hatte.

Seit einigen Monaten leidet sie an Kurzatmigkeit und Schwäche in den Beinen mit Abmagerung der unteren Extremitäten; dabei ist bei ihrer gewöhnlichen Diät keine Schwärzung in ihrer Analyse zu bemerken.

Sie unterzog sich der statischen Elektrizität, ohne an ihrer Lebensweise etwas zu verändern. Nach 20 Applikationen hörten die beginnenden neuritischen Störungen im Gebiete des X. Gehirnpaares und des Ischiadicus vollkommen auf. Sie erlangte ihre frühere Sicherheit im Gange und im Auftreten und die Atmungsbeschwerden traten nie wieder auf.

Ich sah die Frau nach mehreren Jahren wieder, sie hatte inzwischen einige Badeorte besucht und fühlte sich vollkommen wohl. Jene Nervenbeschwerden waren nie wieder zum Vorschein gekommen.

Wie wir daraus ersehen, können wir nicht behaupten, dass die statische Elektrizität ein wahres Spezifikum gegen Diabetes sei (zu ähnlichen Resultaten sind auch später diejenigen gekommen, die dabei die hochfrequente Hochspannung benutzten), ja wir haben sogar unter der Funkenwirkung Eiweiss und Aceton im Urin auftreten gesehen, was für eine destruktive Wirkung auf die organischen Zellen sprechen könnte, ohne dass der Zucker dabei verschwunden wäre; es bleibt aber sicher bestehen, dass die nervösen Störungen, die als Folge der Glycosevergiftung auftraten, durch die Franklinisation einer raschen Heilung entgegengehen.

Die Hauptgruppe, bei welcher ich stets vorzügliche Resultate erhielt, sei es bezüglich einzelner Phänomene, sei es bezüglich der Grundkrankheit, ist jene der funktionellen Neurosen. Viele Autoren haben dabei behauptet, die Elektrizität sei in solchen Fällen nicht als physikalische Kraft, sondern lediglich als Suggestivmittel wirksam; und bemerken dabei, je sichtbarer die Maschine und je hörbarer der Funke sei, desto rascher und vollkommener seien die Heilungen. Deswegen erhalte man in solchen Fällen bessere Resultate mit der grossen, schimmernden und sich rasch bewegenden Elektrisiermaschine, die noch nebenbei von Knistern und Knallen begleitet

ist, als mit der bescheidenen galvanischen Batterie, die ihre Energie ohne auffallende Erscheinungen ins Spiel setzt. Nunmehr ist diese Schule, welche sich am deutlichsten im Frankfurter Elektrotherapeutischen Kongresse im Jahre 1891 behauptet hat, wobei Möbius die extremste Stellung einnahm und mehrere Bundesgenossen fand, in sehr enge Schranken gewichen. Es gibt noch Einzelne, die ihr folgen, jeder Glaube findet seine Klausner; die Fortschritte der Elektrizität in allen Erscheinungen des Lebens sind aber so sonnenklar (ich würde fast bogenlampenklar sagen) geworden, dass sich niemand mehr von jenen Predigern beeinflussen lässt. Eine Energie, die ungestört Berge durchsetzt, um sich einen Cohärer herauszusuchen, kann für den gesunden Menschenverstand auch unseren Organismus durchsetzen und eine torpide Zellengruppe zu intensiverem Leben anreizen!

Ich habe wohl keine Absicht, alle die Fälle dieser Neurose zu besprechen, die ich mittels der Franklinisation geheilt oder gebessert habe. Das würde uns viel zu weit führen und würde ganz zwecklose Wiederholungen einer grossen Anzahl ähnlicher Fälle zustande bringen. Ich werde statt dessen alle diejenigen, die eine grosse Ähnlichkeit zeigen, in Gruppen vereinigen und von jeder Gruppe nur über einige typische Fälle berichten.

Eine erste Gruppe enthält alle die erschöpfbaren Personen, bei welchen die allgemeine Muskelschwäche und die Unmöglichkeit, ihren Obliegenheiten regelrecht nachzukommen, vorherrschen. Es handelt sich meistenteils um nervös veranlagte Individuen, welche schon von Kindheit an auf den Schulbänken ihre täglichen Arbeiten ohne Schwierigkeit ausführen konnten, aber jedesmal bei ausserordentlichen Leistungen lahm geworden sind. Die jeweilige Vorbereitung zu den Prüfungen hat in ihnen Schlaflosigkeit und Zerstreutheit hervorgerufen, die Anstrengung bei der Prüfung selbst ihre Aufmerksamkeit wach zu halten, haben sie durch gewaltige Kopfschmerzen abgebüsst, die sonst nie wieder aufgetreten sind. Bei schriftlichen Proben haben sie nach erledigtem Thema sofort bemerkt, dass sie die wichtigsten Stellen, die sie hätten beleuchten sollen, im Momente der Erschöpfung vollkommen vergessen haben. Sie haben aber nie Angstzustände gehabt, nie an Gemütsstörungen gelitten oder quälende Zwangsgedanken in ihren Sinnen einnisten lassen. Das Krankheitsbewusstsein erledigt sich in der allgemeinen Muskelschwäche mit Gefühlen, jedwelcher Arbeit nicht gewachsen zu sein. Die Gelegenheitsursachen dieser Krankheit können verschieden sein, meistens werden wir als solche treffen einen Zwang, den sich die Kranken auferlegt haben, vereinigt mit der Besorgnis, dass, falls sie dem übernommenen Pensum nicht nachkommen können,

es für sie grosses Unheil bedeute; oder auch öfters geschlechtliche Ausschweifungen mit übermässiger verantwortlicher Gehirntätigkeit vereinigt.

IV. V. B., 35 Jahre alt, aus Palermo. Aus nervöser Familie stammend, die aber seit vielen Jahrzehnten mit gutem Erfolge eine blühende Industrie betreibt.

In seinem gewöhnlichen Leben hat er immer gute Gesundheit genossen, er erinnert sich nicht, je sich Überanstrengungen unterworfen zu haben. Geschlechtlich habe er manches geleistet, er will aber nicht zugeben, dass das für seine Konstitution ein Missbrauch gewesen sei. Seine Nervenschwäche rühre seit 6 Jahren her; er schreibt sie der Gelegenheit zu, dass er beim plötzlichen Tode seines Vaters die sehr wichtige und komplizierte Geschäftskorrespondenz seiner Ditta von einem Tage zum andern auf seine Schultern übernehmen musste, während er früher nur im Schosse gemächlichen Müssigganges gelebt hatte. Die ersten Jahre währte seine Erschöpfung eine gemessene Zeit, Wochen bis Monate lang: und von solchen Anfällen hat er innerhalb vier Jahren drei gehabt. Seit zwei Jahren ist aber seine Erschöpfung eine konstante Erscheinung, die er in manche Bad- und klimatischen Kurorte geschleppt hat, ohne eine Erleichterung zu finden. Es komme ihm zwar vor, sich besser zu fühlen, wie er aber sich wieder in die Geschäftskorrespondenz verlegt oder auch nur Gesellschafts- und Theaterabende zu besuchen anfängt, da hapert es von Neuem und er bemerkt, dass seine Aufmerksamkeit der Anstrengung nicht Stand hält. Ausserdem leidet er an Muskelschwäche, der geringste Spaziergang ermüdet ihn so stark, dass er immer von einem Wagen gefolgt werden muss, sonst riskiert er nicht, auszugehen. Die schwersten Stunden sind die der beginnenden Verdauung. Psychisch hat er nur das Gefühl nicht denken zu können, ganz besonders nichts Geschäftliches leisten zu können, was sich ihm auch als Öde und Leere im Kopfe kundgibt.

Objektiv kann man an diesem Kranken nichts anders als Erhöhung der Sehnenreflexe nachweisen. Beim Beginne der Behandlung bemerkte ich auch eine Sensibilitätsstörung, die mit den gewöhnlichen klinischen Untersuchungsmethoden mir nicht aufgefallen war. Trotzdem er den Tast-, Schmerz- und Temperatureindrücken normaliter antwortete, fühlte er im rechten Hypochondrium den elektrischen Wind nicht, auch wenn ich ihn darauf bei entblösstem Körperteile wirken liess. Dieser Anstrich von Unempfindlichkeit zeigte sich konstant bei mehrmaligen Untersuchungen an verschiedenen Tagen, so dass ich absolut keinen Untersuchungsfehler annehmen kann.

Die günstigen Wirkungen der Behandlung liessen nicht lange auf sich warten. Zuerst wurde die Verdauung wohltätig beeinflusst; dann kräftigte sich sein Muskelgefühl und er konnte dadurch Spaziergänge in freier Luft gebrauchen, die ihrerseits beitrugen, die Besserung rascher eintreten zu lassen. Nach drei Monaten Franklinisation gab der Kranke die Behandlung auf, um wegen der heissen Jahreszeit einen Gebirgsaufenthalt zu geniessen. Diesmal erhielt er daselbst die Kraft und die Ruhe, die er früher an diesen Orten umsonst gesucht hatte. Ich sah ihn wieder im nächsten Jahre und er bestätigte mir, dass seine wahre Besserung von der statischen Elektrizität datiere.

Bei ihm habe ich bemerkt, dass, wenn ich das Franklinische Bad über 10 Minuten andauern liess, sein Puls beschleunigt wurde (von 70 auf 90 Schläge in der Minute) und dass er Blutanwallungen gegen den Kopf verspürte und hierauf zu schwitzen anfing.

V. de C., V., 60 Jahre. Er kam zu mir wegen allgemeiner Nervenschwäche, die seit 7 Jahren andauere. Syphilis vor 30 Jahren. Sein Lebensüberdruss, mit Vergesslichkeit gepaart, wurde von andern Ärzten, wahrscheinlich wegen der Lues, als Prodromi einer allgemeinen Paralyse aufgefasst. Er unterzog sich zwei Monate lang dem Franklinischen Bade, gebrauchte zugleich Jodkali, erhielt dabei eine rasche Besserung, welche jetzt noch nach 10 Jahren vollinhaltlich fortbesteht. Das einzige Phänomen, welches davon zurückgeblieben ist, ist ein für sein Alter übermässiges Schlafbedürfnis; falls er dieses befriedigt, fühlt er sich vollkommen wohl und ist auch arbeitsfähig.

VI. L. D. G., 23 Jahre alt, Student an der Ingenieurschule. Von nervöser Familie stammend. Ist auch im frühen Alter immer schüchtern gewesen. In den letzten Jahren habe er sich z. B. vom sexuellen Leben vollkommen zurückgezogen, weil ein Freund von ihm Syphilis acquiriert hatte, was ihn in grosse Bestürzung brachte. Seit einem Jahre leide er an Blutanwallungen in den Kopf, welche seine Aufmerksamkeit lähmen, er könne deswegen nicht lange studieren, und falls er sich dazu zwinge, befalle ihn heftige Schlafsucht, so dass ihm die Zeilen vor den Augen tanzen. Im letzten Winter (diese Aufzeichnungen rühren vom Juni 1898 her) seit einer heftigen Influenza wurden mit der allgemeinen Abmagerung diese Symptome heftiger und es traten auch Verdauungsstörungen auf. Gemütsaufregungen, die hierzu beitrugen, sind der Tod einer Tante, die ihn an Mutterstelle auferzogen hatte, und der Tod eines Fräuleins, mit welchem er sich verloben sollte.

Er gebraucht die Franklinisation über zwei Monate. Nach wenigen Sitzungen hören die Blutanwallungen in den Kopf auf, nur die Öde im

Kopfe dauert fort. Besonders ist es ihm noch mühsam, bei der mathematischen Stunde aufmerksam zu sein. Allmählich beherrscht er sich besser und kann bei anhaltendem Studieren die Schläfrigkeit, die ihn befallen möchte, fortjagen. Da inzwischen die Schulferien angekommen sind, bricht er die Behandlung ab, um in seine ferne Provinz abzureisen, von wo aus er mir schriftlich seine wiedererlangte Gesundheit bestätigt.

In eine zweite Gruppe vereinige ich alle die Kranken, in welchen ausser der Erschöpfung auch Angst vorhanden ist: besser gesagt, in welchen die krankhafte Furcht das Hauptmoment darstellt, das die Sinne gezwungen hält. Dieselbe tritt meistenteils anfallsweise auf und während der Anfälle sind die Kranken absolut unfähig, etwas anderes zu leisten, sich mit anderen Dingen zu beschäftigen, als mit dem Inhalte ihrer Besorgnis. Es handelt sich um jene Form, welche teilweise in das Gebiet der Zwangsvorstellungen reicht, teilweise noch neurasthenische Melancholie genannt wird. S. Freud war der erste, der die Wichtigkeit einsah, solche Fälle in eine Gruppe zu vereinigen, die er Angstneurose benennt, da alle einen gemeinsamen Entwicklungsmechanismus haben. Deren Abstufungen sind sehr verschieden: bei dem einen erscheint sie als Unentschlossenheit, hinter welcher die ängstliche Befangenheit steckt, dass alles, was er ausführt, nicht recht ist; bei dem andern ist Muskelunruhe vorhanden: er muss sich bewegen, auf und abgehen, alles was er sieht anrühren, sich selbst betasten. Noch andre fürchten „die Krankheit“ überhaupt oder bestimmte Krankheiten: Schlaganfall, Herzkrankheit, Erstickung aus Mangel an Luft. Der Anfall tritt öfters mit Schwindel oder Schwarzwerden vor den Augen auf; andre Male ist er mit körperlichen Empfindungen assoziiert, so mit Brustsperre, mit Gefühl, dass der Kopf in einen eisernen Ring eingezwängt wird, mit flüchtigen Schmerzäusserungen in den Muskeln. Der Inhalt der Furcht ist verschieden: ausser der schon genannten Krankheitsangst treffen wir die Angst, etwas schlechtes, unmoralisches ausführen zu können (Selbstmord, Totschlag, bes. bei den eigenen Kindern, oder einen Wechsel zu unterschreiben, ein Rezept mit verkehrten Medikamenten oder mit tödlichen Dosen zu verschreiben), die Furcht in eine gefährliche Situation zu kommen (Platzangst, Höhenschwindel, Brücken- und Wasserfallanziehung usw.). Entsprechend dem Inhalte der Angst ist das Verhalten des Kranken: dieses wird im Grunde genommen ein sich fortwährendes Verteidigen gegen das gefürchtete Vorkommnis.

Eine der grössten Qualen solcher an Angstneurose leidenden Kranken ist die Schlaflosigkeit. Es ist nicht das Einschlafen, welches mangelt — das kommt sogar öfters während der Verdauung vor. Aber da das unbewusste Denken auch im Schlafe fortwirkt, was sich meistenteils als

Träume kundgibt, und da bei solchen Neurasthenikern der ganze Ideenkreis, der irgendwie mit der Angst assoziiert ist, sehr leicht dieselbe zum Vorschein bringt, so geschieht es öfters, dass nach den ersten Stunden tiefen Schlafes, wie derselbe dem Träumen einen Spielraum lässt, die Angst vor dem Unbewussten eine so anschwellende Grösse erreicht, dass der Kranke plötzlich erschreckt aufwacht und schwerlich wieder einschlafen kann. Gerade diese Leichtigkeit, seine Gefühlssphäre in Vibration zu setzen, wird von der statischen Elektrizität beeinflusst: während der Behandlung bemerkt der Kranke, dass die Anfälle ihn sanfter aufregen — er könne sich dabei besser beherrschen; der Schlaf ist tiefer und regelmässiger und dauert ungestört die ganze Nacht. Dadurch kann auch das erschöpfte Nervensystem sich kräftigen und die Heilung ist leichter zu erreichen.

VII. E. G., 42 J. alt. Mutter nervös; ein Vatersbruder starb an progressiver Paralyse. Er selbst in der Kindheit „nervöses Fieber", welches als schwere Malaria aufgefasst und mit Luftveränderung behandelt wurde. Er erinnert sich noch der Wein-Anfälle und der Furcht, ins Haus, welches er krank verlassen hatte, zurückzukehren. Während seiner Jugend Globus im Halse. Geschlechtliche Ausschweifungen.

Er ist Ingenieur: ist aber passionierter Magnetiseur, was er als Spiel in Gesellschaft sehr oft ausführt. Ermüdet sich dabei sehr oft, da er der Idee huldigt, durch seine Kraft alle, selbst die rebellischsten Personen, in den magnetischen Schlaf verfallen lassen zu können. Ich erwähne diesen Umstand, weil er selbst ihn als Gelegenheitsursache seiner jetzigen Krankheit betrachtet.

Im Januar 1897 kam er zu mir in Begleitung, weil er aus Furcht, es könne ihm was auf der Strasse passieren, nicht allein ausgehen könne. Er hatte vor einigen Monaten einen Schwindelanfall mitten auf der Strasse gehabt, habe sich schwer zu einem Wagen hingeschafft und sei mehr tot als lebendig nach Hause gefahren. Seit der Zeit könne er nicht mehr allein ausgehen; es komme ihm immer vor, er müsse plötzlich zusammenfallen und könne keine Hilfe haben. Dadurch ist er in allen seinen Handlungen und Geschäften behindert.

Mit dem statischen Bade behandelt, konnte er nach einigen Sitzungen allein zu mir kommen; zwei Monate lang liess ich ihn täglich eine Sitzung nehmen, weitere vier Monate an wechselnden Tagen. Dadurch gelang es ihm, sich vollkommen von allen Störungen zu befreien und seit der Zeit ist er nie mehr krank gewesen.

An ihm bemerkte ich zum ersten Male ein anderes Resultat der Kopfdusche. Er ist stark kahlköpfig seit vielen Jahren: seine Glatze ist

vollkommen glatt wie eine Billardkugel. Während der Behandlung nun bedeckte sich seine Glatze mit reichlichen hellblonden Flaumhaaren, ohne dass ich je etwas spezielles dafür getan hätte; er sass nur wegen seiner Angst täglich 7—10 Minuten unter der Kopfglocke.

VIII. R. P., 62 Jahre alt. Finanzbeamter. Von gesunder Familie, kräftiger Konstitution und in gutem Ernährungszustande. Er machte als Offizier die Freiheitskriege mit und litt nie an irgendwelcher Krankheit. Hat Frau und Kinder, die ebenfalls alle gesund sind.

Vor drei Jahren liess er sich von zwei Frauen, um deren Gunst er sich bewarb, hintergehen, indem er für einen dem Bankerotte entgegeneilenden Kaufmann mit Wechselbürgschaft einstand. Die Folge davon war, dass er ein Vermögen, welches er Pfennig für Pfennig für seine Familie angehäuft hatte, im Nu verschwinden sah und das alles für nichtswürdige Frauen! In seinem Innern war er tief gekränkt, nur die Sorge, den Seinigen die wahre Ursache seines Ruins verborgen zu halten, enthielt ihn vom Selbstmorde, der ihm immer vor Augen schwebte. Er befindet sich jetzt in einem Zustande von Teilnahmslosigkeit an allem, isst nur, sich Gewalt antuend, und mit dem Genuss, als ob er fortwährend Gift einnähme, und nach dem Essen springt er auf und ist gezwungen, wie ein wildes Tier im Käfig auf und ab zu marschieren. Dabei hat er das Gefühl sterben zu müssen und brummt impulsiv die Worte: „falls das sein muss, so soll es gleich geschehen!“ Nachts springt er im Schlafe auf und läuft im Zimmer auf und ab, von derselben Zwangsrede gequält. Hat mehrere innere Behandlungen sowie Luftveränderungen durchgemacht, ohne Trost zu finden.

Nach anderthalbmonatlicher Franklinisation fand er die verlorene Ruhe wieder.

IX. F. C., 60 Jahre alt; Grundbesitzer; von gichtischer aber sonst gesunder Familie.

Mit 20 Jahren zum ersten Male neurasthenisch, wobei er eine schon bestimmte Heirat aus inhaltsloser Angst aufgeben musste. Nachdem heiratete er eine andere Frau ohne Schwierigkeit.

Mit 58 Jahren ohne ihm bekannte Ursache Rückfall der Angstneurose: diesmal aber mit der Furcht, seine Familie ruiniert zu haben; dabei vollkommen schlaflos mit reissenden Schmerzen im Hinterkopfe, die ihn von jeder ausgiebigen Beschäftigung ferne halten.

Nach 20 Sitzungen im statischen Bade gibt er aus Unentschlossenheit die Kur auf, kommt aber nach anderen zwei Wochen zu mir während eines Angstanfalles: er ist blass im Gesicht, sein Puls ist hart, er läuft auf und ab in meinem Konsultationszimmer mit stark aufgesperrten Augen,

windet sich hier und da, sich auf das Sopha werfend, mit der Klage, „er fühle sich erdrosselt und müsse sterben“. Alle guten Ereignisse, die ihm zukommen können, seien nur Tantalus-Qualen, weil er sie nicht geniessen könne. Seit dem Augenblicke ist er gleichmässiger in der Behandlung und erhält nach einigen Monaten Franklinisation vollkommene Ruhe, zuerst im Schlafe und nachträglich auch während des Tages und in seinen Geschäften.

Eine dritte Gruppe enthält auch hereditär belastete Kranke. Sie haben ein zwar ruhiges Leben geführt, haben aber nie dabei ihre Zufriedenheit gefunden, so dass das Missvergnügen ihren Charakter und ihre Lebensfreude unterminiert hat. Es genügt, dass eine Widerwärtigkeit sie ein wenig aufrege, worauf sie sofort mit Schlaflosigkeit und Erschöpfung antworten. Wir treffen öfters diese Form unter den Frauen. Die Sorge, die sie dabei quält, ist meistenteils den Umständen nicht angemessen, erscheint daher unlogisch, ist oft so geringfügig, dass die Angehörigen sich darüber ärgern und dadurch den Kranken unwillkürlich noch mehr peinigen.

X. Fräulein A. S., von physisch gesunder aber moralisch verschrobener Familie. Die Kranke selbst ist schwächlich. Genoss eine höhere Erziehung, die ihr das Milieu, in welchem sie lebt, gemein erscheinen lässt. Von gutem Naturell, nimmt alles auf sich, was die Familie von ihr verlangt, aber mit trübem Herzen und noch dazu, ohne dass die anderen es merken, dass sie nur aufopfernd sich dazu gibt. Hat mehrere Heiraten abgewiesen, weil sie ihren Träumen nicht entsprachen und sah nacheinander alle die jungen Männer, die sie gewünscht hätte, andere Heiraten eingehen. Dadurch zog sie sich immer mehr zurück und trotzdem, dass sie der Familie zu Liebe überall mitging, war ihr Gemüt doch einsam. Sie fing an, besonders am späten Abend, in ihrem Schlafzimmer ihre Lieblingsgedanken zu pflegen, wobei sie sich zuerst mit Kaffeetrinken den Schlaf vertrieb, nachher aber in vollkommene Schlaflosigkeit geriet. Daraus Erschöpfung, Unmöglichkeit, den häuslichen Arbeiten nachzukommen, Aufmerksamkeit einer Lektüre zu widmen, einen Brief zu schreiben.

Schon nach der zweiten Franklinisation fing sie an, ruhigere Nächte zu verbringen. Bei ihr versuchte ich, mittels des Mundschen Apparates Wechselstrom zu gebrauchen, sie bekam aber dabei jedesmal Kopfschmerzen. Die Funken machten sie noch nervöser. Nur das konstante gleichgerichtete statische Bad wirkte beruhigend, und nach einer dreiwöchentlichen Behandlung hatte sie ihre Gemütsruhe wieder erlangt.

XI. F. M., 23 Jahre alt, aus nervös veranlagter Familie. Hat schon 6 Kinder geboren. Vor einigen Jahren litt sie an Furcht, herzkrank zu sein, wovon sie sich vollkommen befreit hat.

Die wiederholten Schwangerschaften liessen sie eigentlich nie recht aufkommen. Auch die Geburten sind nicht alle gut verlaufen, manche war von starken Blutverlusten begleitet.

Sie hatte auf der Oberlippe etwas Flaumhaar, welches sie mit einem chemischen Enthaarungsmittel zerstörte. Da dasselbe aber nachträglich wieder stärker wuchs, ist sie jetzt von Zwangsgedanken gequält, diese Verunzierung liesse sie das Leben nicht geniessen. Sie sitze den ganzen Tag vor dem Spiegel, könne die Hausgeschäfte nicht besorgen und vernachlässige die Kinder, die sie früher sehr lieb hatte. Will nicht ausgehen, damit alle diese Gefühle nicht an ihrem (in der Tat sehr wenig angedeuteten) Schnurrbarte abgelesen werden.

Die entfernten Ursachen ihrer Krankheit sind, dass sie den Willen der Eltern über sich ergehen liess bei ihrer Heirat, während sie einen anderen liebte. Letzteres Gefühl kam besonders deutlich zustande, als dieser kurze Zeit danach starb. Ihr Schmerz über den Tod der geliebten Person wurde gar nicht geschont, ja sogar ihr Gemahl wurde eifersüchtig auf deren Andenken und quälte und neckte sie, so viel nur in seinen Kräften stand.

Nach 25 franklinischen Bädern erreichte sie Gemütsruhe und vergass alle Zwangsgedanken.

XII. A. L., 48 Jahre alt, Gymnasialdirektorsfrau. Kräftig gebaut. Schon in der Kindheit habe sie sich in der grossen Menge nicht wohl gefühlt. In der Jugend bei einem Volksfeste war ihr ein Eisenstück von einem gesprungenen Mörser an die Stirne geflogen: sie war glücklicherweise in so einer Entfernung, dass keine Wunde entstand: es genügte aber, um sie zu betäuben und sie wurde im bewusstlosen Zustande nach Hause getragen. Seit der Zeit grosse Angst vor Feuerwerken. Sie ging bei schon reifem Alter eine Heirat ein, von welcher sie sich viel erwartet hatte. Fand dabei aber keine moralische Befriedigung, und ihre fortwährende Pein ist, keine Kinder zu haben, was ihr das Gefühl ihrer Nutzlosigkeit fortwährend vor Augen hält. Das alles war aber nur innere Unzufriedenheit, wovon eigentlich niemand eine Ahnung hatte bis zum Augenblicke einer schweren Ungerechtigkeit, die ihrem Manne zugefügt wurde. Sie hatte sich empören wollen, musste aber stillschweigend alles über sich nehmen, so lange eine Untersuchung währte, aus welcher ihr Gemahl vollkommen reingewaschen herauskam. Aber für sie galt als die ärgste Beleidigung, schon die Untersuchung angeordnet zu sehen.

Bei dieser Gelegenheit hatte sie die ersten deutlichen nervösen Beschwerden: sie fühlte ihre Zunge angebunden und ihren Hals zugeschnürt. Mit ein wenig Bromkali hörte das nach wenigen Tagen auf. Seit dem Ereignisse blieb ihr aber eine konvulsivische Bewegung im Stirnmuskel zurück, die sie mit Handzugreifen zum Stillstehen bringt. Sie ist jetzt gezwungen, überall, auch mitten auf der Strasse, mit der Hand in die Haare zu greifen, es kommt ihr vor, falls sie das nicht tue, werde sie das Gehirn verlieren. Schlaflosigkeit in der Nacht.

Gehör- und Geruchsinn sind schmerzhaft hyperästhetisch. Sehnenreflexe gesteigert.

Nach 15 statischen Bädern fing sie an ruhig zu schlafen. Hierauf begann ich auch etwas Psychotherapie, wodurch sie auch von den anderen Erscheinungen befreit wurde.

Eine andere Gruppe Erschöpfter, in welcher die Franklinisation vorzügliche therapeutische Resultate gibt, ist jene lokalisierter Neurasthenie, sei dieselbe von nosophobischen Gefühlen begleitet oder nicht. Es handelt sich meistens um Störungen in der Funktion der Eingeweide, die nicht autochthon entstehen. Falls ich eine Analogie gebrauchen sollte, müsste ich mich ausdrücken, dass, wie die Erschöpfung mancher Gehirnzentren Unaufmerksamkeit und Unzufriedenheit hervorruft, so die Erschöpfung anderer Nervenzentren (ich lasse unentschieden, ob dieselben Gehirnzonen seien oder sympathische Zentren) schlechte Innervation der Gedärme, des Herzens, schlechten Trophismus der organischen Drüsen hervorrufen könne.

XIII. O. A., 28 Jahre alt. In der Familie Nervenkrankheiten. Der Vater, zwar in hohem Alter, an Gehirnanämie leidend — ein Vatersbruder mit progressiver Paralyse. Mutter und Schwester gesund. Er selbst geniesst das Leben nach allen Seiten, ist aber ein intelligenter und froher junger Mann, der sich diesen Genüssen mit eigener Initiative und Ausdauer zu entreissen versteht.

Drei Jahre, bevor er zu mir kam, litt er an Ileotyphus. Zwei Jahre danach Magenkatarrh, der von allen Ärzten als Rest der Infektion betrachtet und mit Desinfektantien und beschränkter Diät behandelt wurde, ohne dass er davon eine wahre Besserung bemerkte. Sogar Luftveränderung und Landaufenthalt blieben erfolglos. Er ist sehr abgemagert. In letzter Zeit trat auch Schlaflosigkeit hinzu, weswegen er sich an mich wandte. Über eine äusserliche Gelegenheitsursache gefragt, erzählt er mir, er habe vor dieser Krankheit eine Zeitlang Coitus interruptus unmittelbar nach dem Essen fast täglich ausgeführt und das habe ihm die Verdauung gestört. Er gab zwar das ungesunde Vergnügen auf, konnte sich aber

vom Magenkatarrhe nicht befreien. Nur bei Gebrauch von Pepsin und bitteren Tropfen konnte er etwas verdauen, sobald er aber zur gewöhnlichen Familienkost zurückging, fingen die Beschwerden von Neuem an. Die Zunge weiss belegt. Magensekret zeigt bedeutenden Mangel an Salzsäure. Nach einem Monate statischer Elektrizität zuerst mit Hauch, dann mit Funken auf die Magengegend, gibt er das Pepsin auf, und die elektrische Behandlung fortsetzend, fängt er an die gewöhnliche Mahlzeit seiner Familie mitzuessen, ohne an Verdauungsstörungen zu leiden. Er bemerkte auch, dass die hartnäckige Stuhlverstopfung, die ihm vom Darmtyphus zurückgeblieben war, zu schwinden begann: mit einer sehr grossen Regelmässigkeit hatte er täglich genau eine Stunde nach dem elektrischen Bade einen ausgiebigen Stuhlgang.

Er gebrauchte noch die Behandlung in wechselnden Tagen durch einen weiteren Monat und erhielt vollständige Heilung.

XIV. G. F., 60 Jahre alt; Verwaltungsbeamter. Vor sechs Jahren hatte er eine ähnliche Neurasthenie, die für Magenkatarrh aufgefasst und mit Magenpumpen behandelt wurde, dabei aber sich verschlimmerte. Er gesundete damals 8 Monate nach Beginn der Krankheit und nachdem er jede lokale Behandlung aufgegeben hatte.

Jetzt klagt er über Schwäche in den Beinen und Trübsinn, mit Leichtigkeit über seinen Zustand zu weinen und Magenschwäche. Sowie er Speisen oder auch nur einen Tropfen Wein einnimmt, hat er sofort das Gefühl, als ob der Magen in die Weichen heruntersinke: daselbst verursache er ihm einen peinlichen Druck, so dass er weder sitzen noch stehen könne: er müsse sich absolut niederlegen, was natürlich eine Störung in seinen Geschäften mit sich bringe. Zugleich werde er unruhig und male sich die Unheilbarkeit seines Leidens mit deutlichen Farben aus. Eine halbe Stunde nach dem Essen steigen ihm oft die Speisen zum Munde zurück und er sei zum Wiederkauen genötigt. Kräftig gebauter Mann, z. Z. blass und abgemagert. Reflexe gesteigert. Von inneren Organen Magenerweiterung. Im Urin Phosphate und Harnsäure in Exzess.

Mit franklinischem Hauche auf den Magen heilte zuerst der Trieb zum Wiederkauen und nach andern zwei Monaten Behandlung auch der Trübsinn.

XV. E. S., 46 Jahre alt. Von gesunder Familie. Geschlechtliche Ausschweifungen während des ganzen Lebens. Mit 25 Jahren sehr reizbar.

Seine erste Neurasthenie währte 6 Monate; im Jahre 1886, nach der Choleraepidemie, verursachte ihm die Furcht einen Rückfall. Er setzte sich manchen ängstlichen Momenten aus, bei seinen geschlechtlichen Abenteuern besonders, nachdem er geheiratet hat und im Grunde genommen

auf Kosten seiner Frau, die Hebamme ist, lebt. Einmal hatte er dabei das Gefühl, als ob ihm das Herz durch und durch gestochen worden wäre. Im vergangenen Winter Harnbeschwerden, von der ungewohnten Kälte abhängig — sofort aber zugleich Herzschwäche. Jetzt müsse er alle drei Stunden essen, sonst würde der Puls immer schwächer bis zum Stillstande, falls er nicht rasch genug etwas einnimmt. Er ist sicher, dass er dabei sterben würde und geht deswegen immer mit Speisen in den Taschen herum.

Puls 86. Der zweite Aortenton etwas verstärkt. Franklinisation mit Hauch auf die Herzgegend; der Puls wird dabei langsamer. Nach zwei Sitzungen wird er angehalten, das Zwangsessen aufzugeben, und tatsächlich hält er sechs Stunden aus ohne etwas zu geniessen. Damit zufrieden, verlässt er die Behandlung; ist aber noch tief überzeugt, dass, falls er nicht alle sechs Stunden esse, er durch Herzstillstand sterben würde.

XVI. A. R., 24 Jahre, Mediziner. Seit sechs Jahren, als er sich für die Prüfungen melden soll, leidet er an Kopfschwindel und Zittern, welche direkte Folgen einer Herzinsuffizienz sind. Jedesmal, wenn er intensiver und kontinuierlicher studiert, tritt ein mitralisches Geräusch auf, welches bei freiem Leben auf dem Lande spontan aufhört. Das sei sehr schön, störe ihn aber so stark beim Studium, dass er einige Jahre ohne Prüfungen vorbeigehen liess.

Ich lasse ihn gerade während der Zeit dieses intensiven Studiums täglich die Franklinisation mit Wind auf die Herzgegend gebrauchen und er wird dadurch in den Stand gesetzt, seine Prüfungen ohne Störung und mit gutem Erfolge zu bestehen. Dabei bemerkte ich, dass schon nach 10 Applikationen das mitralische Geräusch sich zu modifizieren anfing und nach 20 vollkommen verschwand.

Diese sind mehr oder weniger Paradigmata für jene Formen von Neurasthenie, welche am meisten gute Erfolge von der statischen Elektrizität haben können.

Manche Autoren und besonders diejenigen, welche behaupten, die statische Elektrizität wirke als Suggestion, rühmen sie bei der Hysterie. Ich pflege diese Krankheit mehr mit psychotherapeutischen Prozeduren zu behandeln: gebrauche aber manchmal den Funken, um eine Hypoästhesie zu modifizieren, oder den Wind, um eine Ovarialgie zu lindern, mehr als symptomatische Wirkungen, die meistenteils auch sehr rapid sind.

Man hat viel von dem Einflusse der Franklinisation auf die monatliche Periode der Frauen gesprochen: ja man hat sogar behauptet, man müsse während dieser Zeit die Behandlung auch, falls sie aus anderen Gründen ausgeführt wird, aufgeben. In Fällen von Chlorose oder von

nervösen Beschwerden, die von der Menstruation hervorgerufen werden, kann man zum statischen Bade greifen: ich habe aber nie bemerkt, dass diese Behandlung eine normale Periode zu heftig oder zu lange dauernd werden lässt, so dass ich keinen Grund habe, in den Tagen der Menstruation die Applikationen aufzugeben.

XVII. Ich hatte auch Gelegenheit, eine günstige Wirkung von der Franklinisation in einem Falle von Gesichtsneuralgie zu bemerken. Es handelte sich um einen 50jährigen Herrn mit heftiger Neuralgie in dem zweiten und dritten Aste des Trigeminus mit einseitigem Trismus, wodurch er rund volle zwei Jahre verhindert gewesen war, harte Speisen zu essen. Mit den Thermalbädern besserte sich sein Zustand, im Winter und bei Gemütsaufregungen wurde er wieder schlechter. Dabei Unempfindlichkeit vor der Ohrmuschel. Es ist möglich, dass diese Schmerzen Prodromalphänomene eines Tabes dorsalis wären: das ist aber wegen Mangel anderer Erscheinungen nicht nachgewiesen. Nun blieb bei diesem Herrn die Galvanisation ziemlich erfolglos und ich entschloss mich, die ganze Gesichtshälfte mit dem franklinischen Winde zu behandeln. Die Linderung der Schmerzen war unmittelbar — sofort nach der Sitzung konnte er eine Zeitlang kauen und die Besserung schritt regelmässig fort.

Diese schmerzlindernde Wirkung dürfte die wichtigste Seite bei der Behandlung der Brandwunden und der Frostbeulen sein; ich habe aber dabei keine persönliche Erfahrung. Nur bei einer Quetschung am Fingernagel, wo ich sofort den elektrischen Wind, um die starken Schmerzen zu lindern, gebrauchen liess (es war an einer Person meiner Familie), konnte ich beobachten, dass die purpurfarbene Suffusion, welche bei solchen Gelegenheiten aufzutreten pflegt, sich nicht zeigte, dass vielmehr eine schwache Röte, die auch weiter schmerzlos blieb, nur ein paar Tage zu sehen war und rasch verschwand.

Bezüglich der Hautkrankheiten konnte ich in den letzten Jahren ekzemartige Formen behandeln, die sehr schön und sehr rapid verschwanden, ohne dass es nötig gewesen wäre zur Depilation zu schreiten (es handelte sich um Fälle von Ekzem im Barte). In einigen von diesen sah ich Rückfall eintreten, immer aber schwächer und entfernter als mit den früheren Behandlungsmethoden, so dass ich die Überzeugung habe, dass schliesslich doch auch vollständige Heilung stattfinden wird.

Noch über einen Fall von üppigem Haarwuchs unter dem statischen Hauche will ich berichten.

XVIII. Es handelte sich um einen Fechtmeister, der nach Typhus das ganze Kopfhaar verlor und es spontan wieder wachsen sah. Als er aber kurz darauf eine ganze Reihe peinlicher Ereignisse, unter welchen

auch der Tod seines Vaters, durchmachte, da verlor er es von neuem: diesmal aber nur in mehrfachen über fünfmarkstückgrossen Flecken. Zwei solche standen am linken Scheitelbeine, einer am rechten Hinterhaupte: dazu fielen ihm die linke Augenbraue und der linke Schnurrbart heraus. Verschiedene Haarwasser und Pomaden nützten nichts und er war genötigt, sich das Gesicht glatt zu rasieren und am Kopfe eine Perücke zu tragen. Erst nach einem vollen Jahre erfuhr er von der Möglichkeit einer elektrischen Behandlung und kam zu mir. Schon nach 20 Sitzungen begannen die herdförmigen kahlen Stellen sich ringsum zu verkleinern und nach zweimonatlicher Behandlung war er mit normaler Kopfschwarte. Nur die Augenbraue brauchte noch länger, um zum Vorschein zu kommen.

Unter den mehrfachen anderen Krankheiten, die ich damit behandelte, bemerkte ich öfters wenigstens symptomatische Besserungen. Bei der chronischen Laringitis mit heftigem Hustenreiz konnte ich diesen mittels Ozoninhalationen, die ich ohne spezielle Apparate einfach durch eine spitze Elektrode vor dem offenen Munde ausführte, sehr leicht bekämpfen. Es war nur eine teilweise Beruhigung, die die lokale Therapie nicht ausschliessen sollte, sie hat sich aber konstant günstig gezeigt.

Ich will hier nicht Alles aufzählen, was noch mit der statischen Elektrizität geheilt werden kann; das ersieht man aus den früheren Kapiteln, wo ich die Nachrichten der Autoren gesammelt habe. An diesem Orte habe ich nur hervorheben wollen, was mir meine eigene Erfahrung auf diesem Gebiete gezeigt hat.

Hiermit will ich schliessen und nur noch einmal wiederholen, dass ein Jeder, der an dieser Form von Energie Gefallen findet, sich entschliessen muss, immer nur gute Maschinen mit reichlicher Elektrizitätsausbeute anzuschaffen, dieselben in ihrer Leistungsfähigkeit und Dosierung genau zu prüfen, in jedem Falle die nötige Quantität und die genügende Applikationsdauer experimentell auszuprobieren und dann sicherlich mit den Resultaten zufrieden sein wird.

Autoren-Verzeichnis.

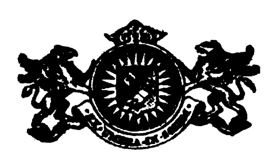
Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Ahrweiler und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel.

Heft 5.

Elektrische Gesundheits-Schädigungen am Telephon.

Ein Beitrag zur Elektropathologie.

Von
Dr. Hans Kurella,
dirigierendem Arzte der v. Ehrenwallschen Kuranstalten
in Ahrweiler.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes, darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. 29 S. 1904. M. —.80.

Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. 50 S. 1904. M. 1.20.

Heft 3: **Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes. 47 S. mit 26 Abb. 1905. M. 1.50.

Heft 4: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel. 98 S. mit 24 Abb. 1905. M. 2.80.

Heft 5: **Elektrische Gesundheits-Schädigungen am Telephon.** Ein Beitrag zur Elektropathologie. Von Dr. Hans Kurella. 56 S. 1905. M. 1.50.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. K. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in Ahrweiler.

Jährlich 12 Hefte. * Abonnementspreis Mk. 12.—.

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

Heft 5.

Elektrische Gesundheits-Schädigungen am Telephon.

Ein Beitrag zur Elektropathologie.

Von
Dr. Hans Kurella,
dirigierendem Arzte der v. Ehrenwallschen Kuranstalten
in Ahrweiler.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.

Die zwanglosen **Abhandlungen auf dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie** wenden sich an ein grosses Publikum.

Der Ausbau der alten klassischen Elektrotherapie und Elektrodiagnostik ist noch nicht vollendet; neue technische und therapeutische Verfahren tauchen beständig auf und harren der Prüfung; rapide entwickelt sich in engster Verbindung mit der medizinischen Elektrotechnik die Radiologie; es bedarf der Gelegenheit zu einer ruhigen Kritik des Neuen und einer systematischen Darstellung des Reifen und Abgeklärten.

Diesem Bestreben soll unsere Sammlung einen Stützpunkt geben, von dem aus auch die immer unentbehrlicher werdende Fühlung mit der Theorie behalten werden soll. Auch das Bedürfnis des praktischen Arztes, darüber etwas zu erfahren, was zur Ergänzung seines Instrumentariums unentbehrlich ist, sowie diejenigen Methoden kennen zu lernen, die er seinen Patienten durch Überweisung an geeignete Spezial-Anstalten zugänglich machen muss, soll so sorgfältig befriedigt werden, wie das des selbständigen Forschers nach dauerndem Kontakt mit der Theorie.

Es enthält:

Heft 1: **Das Wesen der Kathoden- und Röntgenstrahlen.** Von Privatdozent Dr. Johannes Stark-Göttingen. 29 S. 1904. M. —.80.

Heft 2: **Die Wärmestrahlung, ihre Gesetze und ihre Wirkung.** Von Dr. Fritz Frankenhäuser-Berlin. 50 S. 1904. M. 1.20.

Heft 3: **Die Ionen- oder elektrolytische Therapie.** Von Prof. St. Leduc-Nantes. 47 S. mit 26 Abb. 1905. M. 1.50.

Heft 4: **Die Franklinisation.** Von Prof. Dr. v. Luzenberger-Neapel. 98 S. mit 24 Abb. 1905. M. 2.80.

Heft 5: **Elektrische Gesundheits-Schädigungen am Telephon.** Ein Beitrag zur Elektropathologie. Von Dr. Hans Kurella. 56 S. 1905. M. 1.50.

Im gleichen Verlag erscheint:

Zeitschrift für Elektrotherapie

und die physikalischen Heilmethoden auf Grundlage der Elektrotechnik

Unter ständiger Mitwirkung von

Prof. Dr. Boruttau, Göttingen, Friedrich Dessauer, Aschaffenburg, Dr. F. Frankenhäuser, Berlin, John Härdén, New-York, Dr. W. S. Hedley, London, Dr. J. K. Hoorweg, Utrecht, Dr. L. Ladame, Genf, Prof. Dr. von Luzenberger, Neapel, Dr. Ludwig Mann, Breslau, Dr. O. Mund, Görlitz, Prof. Dr. Wertheim-Salomonson, Amsterdam, Prof. Dr. S. Schatzkij, Wien, Prof. Dr. Schiff, Wien, Dr. Zanietowski, Krakau, Dr. A. Zimmern, Paris

herausgegeben von

Dr. Hans Kurella in Ahrweiler.

Jährlich 12 Hefte. * Abonnementspreis Mk. 12.—.

Dem bei ihrer Gründung vor 6 Jahren massgebenden Streben nach der Förderung theoretischer Klarheit und technischer Korrektheit in der Elektrotherapie, Elektrodiagnostik und Radiologie wird die Zeitschrift auch in Zukunft sich hingeben; schnelle, vollständige und durchaus kritische Berichterstattung über alle Fortschritte der Erkenntnis, der Methoden und der technischen Produktion wird weiter ihre Hauptaufgabe sein; in einem neuen Abschnitte soll regelmässig in möglichst klarer und ansprechender Form über alles berichtet werden, was den die allgemeine Praxis treibenden Arzt besonders angeht; daneben soll aber mit Hilfe der Herren Boruttau, Hoorweg und Härdén den Fortschritten der Physik, der Physiologie und der allgemeinen Elektrotechnik die grösste Aufmerksamkeit gewidmet werden, um für die Anregung des Praktikers durch beständige Fühlung mit den Fortschritten der theoretischen Erkenntnis und der technischen Produktion zu sorgen.

So wenig die Schriftleitung geneigt ist, sich auf den Boden exklusiver Pflege der akademischen Tradition zu stellen, so scharf soll allen Phantastereien und Spielereien mit der Elektrotechnik auf dem Gebiete der Medizin entgegengetreten werden.

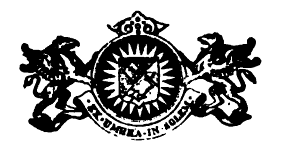
Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik.

Heft 5.

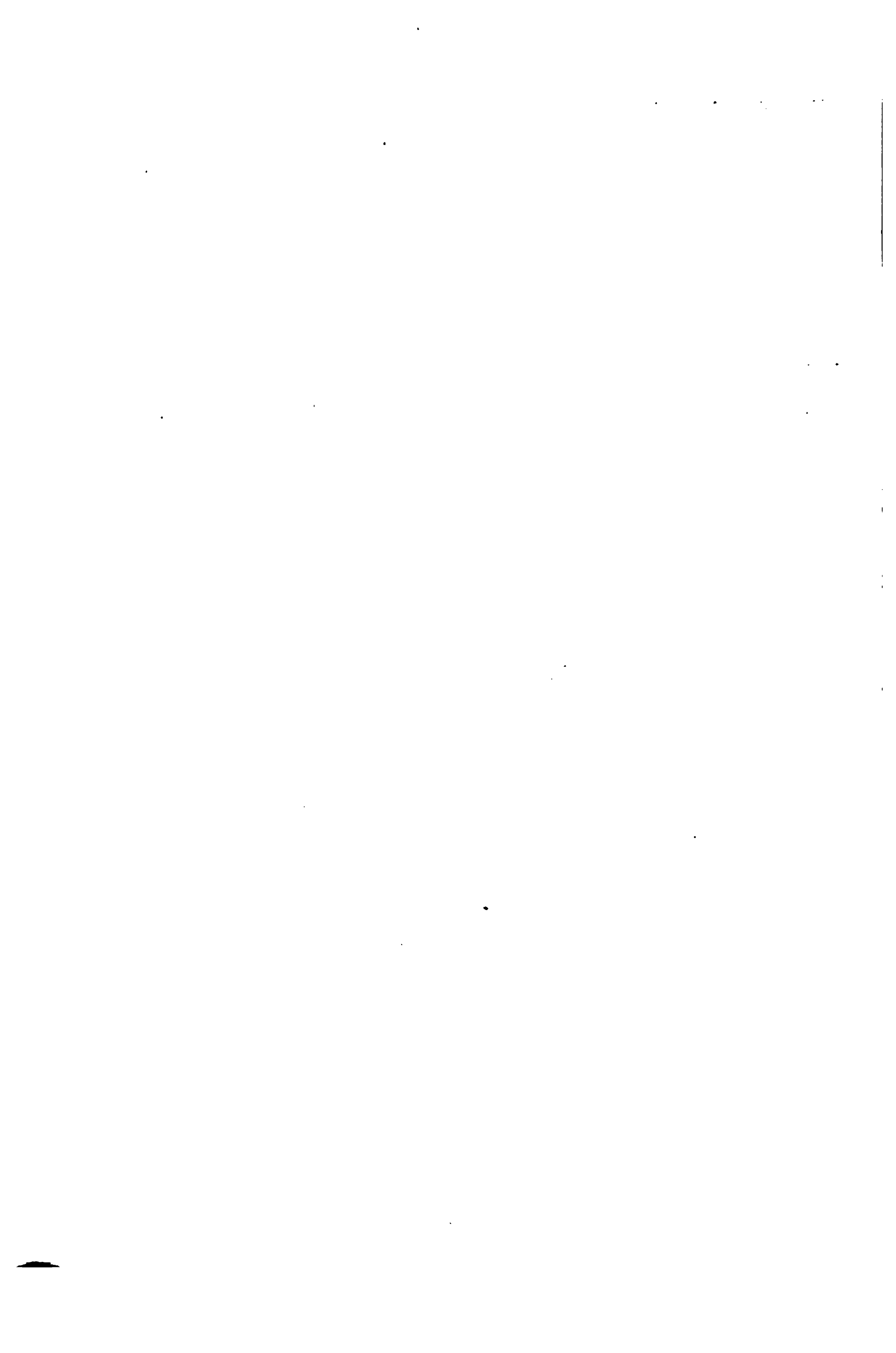
Elektrische Gesundheits-Schädigungen am Telephon.

Ein Beitrag zur Elektropathologie.

Von
Dr. Hans Kurella,
dirigierendem Arzte der v. Ehrenwallschen Kuranstalten
in Ahrweiler.



Leipzig 1905.
Verlag von Johann Ambrosius Barth.
Roßplatz 17.



Inhalts-Verzeichnis.

Ich will unter diesem Titel eine Reihe von Beobachtungen, Tatsachen und Betrachtungen eigener Provenienz über Starkstrom-Schädigung zusammen mit Belegstellen aus der Literatur zusammenstellen, die, ohne die Prätention, auf diesem schwierigen Gebiete zu einem abschliessenden Ergebnisse zu kommen, lediglich ein nach gewissen Gesichtspunkten geordnetes und möglichst allseitiges Material darbieten sollen.

Dass mit der wachsenden Vermehrung von frei geführten Leitungen für Ströme hoher Spannung und dem ihnen parallelen Vorhandensein von Telegraphen- und Telephonleitungen die Gefahren und die Unfälle wachsen müssen, ist keine Frage; kann doch jeder heftige Sturm durch Kontakt zwischen Licht- oder Strassenbahnleitung einerseits, Telephonleitung andrerseits jeden Abonnenten der Telephon-Ämter in höchst unliebsame Berührung mit plötzlich eintretendem Starkstrom bringen.

Ich beginne mit einigen charakteristischen Krankengeschichten und im Verlaufe der Beobachtung abgegebenen Gutachten.

I.

Gutachten.

Fräulein S., Angestellte der Fernsprechverwaltung zu N., hat mich im April d. J. konsultiert.

Ich habe sie bis vor kurzem genau beobachtet: mit dem Ergebnisse, dass sie an einer sogenannten „abortiven" — d. h. nicht voll entwickelten, aber einer weiteren Entwicklung fähigen — Form der Basedowschen Krankheit leidet.

Bestimmte Symptome dieses Leidens bestehen in abortiver Form dauernd seit dem April; dazu kommt aber, dass zur Zeit der vierwöchentlichen Periode sich rapide ein Zustand entwickelt, der, besonders was die Herztätigkeit und den Gemütszustand angeht, einem vollentwickelten, hochgradigen Morbus Basedowii völlig gleicht. Ich habe diese Zustände dreimal jedesmal während 3—4 Tagen gesehen.

Sowohl die ersten Angaben, die Fräulein S. machte, als sie mich konsultierte, als auch wiederholtes eingehendes Befragen ihrer Mutter und Schwester haben ergeben, dass sich diese in Begleitung der Menstruation auftretenden Anfälle zuerst im Herbst v. J. entwickelt haben,

nachdem ein solcher photographisch gleicher Anfall die erste, einem Betriebsunfall folgende Menstruation begleitet hat (August 1903).

Obschon ich mir auf der einen Seite alle Mühe gegeben habe, der Patientin und ihren Angehörigen klar zu machen, dass die Prognose gut ist, dass eine unmittelbar auf elektrische Wirkungen zurückzuführende Berufsschädigung nicht vorliegt, muss ich andrerseits doch anerkennen, dass die Anfälle der Kranken und ihr zwischen diesen liegender, die Symptome des Anfalls in leichter Andeutung enthaltender Dauerzustand erst nach dem im Juli vorigen Jahres erlittenen Betriebsunfalle aufgetreten sind.

Es ist nun für die Patientin von grosser Wichtigkeit — und von einiger auch für ihre vorgesetzte Behörde — festzustellen, ob hier ein bloss zufälliges Nacheinander vorliegt, oder ob der erlittene Unfall die Krankheitserscheinungen hervorgerufen hat.

Der Unterzeichnete hat in dieser Beziehung damit zu rechnen, dass er, wie eine Korrespondenz mit dem zuständigen beamteten Arzte, dem Herrn Geh. Rat X., ergeben hat, in einer nicht auszugleichenden Differenz der Auffassung des Falles mit diesem verehrten Kollegen sich befindet, die er zu seinem Bedauern im Interesse seiner Klientin nicht verhehlen kann.

Herr Geh. Rat X. hält die Patientin für hysterisch und erklärt ihre Beschwerden aus dieser dauernden Anomalie und einer gleichzeitigen Blutarmut. Die Diagnose eines sich entwickelnden Morbus Basedowii lehnt er ab.

Dieser Auffassung gegenüber ist zu bemerken:

1. dass nur die Beobachtung einiger der menstruellen Anfälle die Diagnose sichern kann;
2. dass diese Anfälle sich erst seit dem Unfalle entwickelt haben;
3. dass die von Herrn Geh. Rat X. hervorgehobene, als Hysterie und Blutarmut bezeichnete allgemeine geringfügige Nervosität und Zartheit der Patientin wohl schon vor dem Unfalle vorlag, dass diese Anlage allein aber die gegenwärtige Krankheit nicht verursacht hat, dass vielmehr der Unfall hinzukommen musste; es kann zugegeben werden, dass der Unfall vielleicht die vorliegenden konkreten Folgen nicht gehabt hätte, wenn er nicht eben gerade ein zartes, etwas nervöses Individuum betroffen hätte;
3. dass ich bei Untersuchung des Blutes mit dem Gowers'schen Hämoglobinometer 82—87 % Hämoglobingehalt des normalen Blutes gefunden habe, dass also von einer erheblichen Anämie als Krankheitsursache hier nicht wohl die Rede sein kann.

Zu dem unter 3 berührten Punkte habe ich nun im Interesse einer vollkommenen Klarstellung der ursächlichen Verhältnisse folgendes zu sagen:

Die Beeinflussung des menschlichen Körpers durch einen hochgespannten Strom von mehreren Hundert oder Tausend Volt im Kreise einer Leitung, die ausser dem menschlichen Körper keine anderen als metallische, also dem Körperwiderstande gegenüber zu vernachlässigende Widerstände enthält, kann in vierfacher Weise wirken.

Erstens wirkt der Schreck, welchen der überaus plötzliche starke Eindruck mit seinen Begleiterscheinungen — Schwindel, Hinfallen, subjektive Licht- und Klangwahrnehmung, Muskelzucken, Herzstillstand — hervorruft, pathologisch wie jeder andere starke Schreck.

Zweitens wirkt ein solches Erlebnis sekundär auf die Phantasie des Kranken; er grübelt über die näheren und weiteren Folgen nach; Ärzte, Angehörige, Kollegen wirken mit ihrer Auffassung auf die des Patienten ein, es entwickeln sich fixe, durch Autosuggestion und Fremdsuggestion hervorgerufene Ideen des Inhalts, schwer verunglückt, unheilbar krank zu sein, es beginnt der Kampf um die Unfallentschädigung mit allen seinen Aufregungen, dem weiteren suggestiven Einflusse mehrfacher ärztlicher Untersuchungen, abweichender Begutachtungen. Kurz, der Unfall wirkt rein durch suggestive Faktoren als Ursache einer schweren Hypochondrie.

Drittens kann der übermässig starke Nervenreiz (Shock), welchen das plötzliche Eindringen eines hochgespannten Stroms von meist recht hoher Intensität darstellt — denn es können sich dabei durch ein sehr kurzes variables Stadium hindurch sehr starke Ströme etablieren — zu schwer funktionellen oder zu tiefgreifenden, sich unter dem Mikroskop als Zertrümmerung der Nervenfibrillen u. a. erweisenden materiellen Veränderungen des Nervengewebes führen, die erst in neuester Zeit von bedeutenden Physiologen genauer erforscht und den meisten Ärzten noch völlig unbekannt sind, obwohl die Frage dadurch völlig spruchreif geworden ist.

Viertens können sich, wenn der einmal eingeführte Starkstrom weiter fliesst, an den Eintrittsstellen durch die entwickelte Stromwärme Verbrennungen und durch elektrochemische Vorgänge, die gleichfalls, besonders von Prof. Leduc in Nantes, genau erforscht sind, an den Kontaktstellen und in der ganzen im Körper gelegenen Strombahn Verätzungen einstellen, die natürlich um so schwerer wiegen, wenn der Kopf als Eintrittsstelle des Stromes dient.

Ich darf hervorheben, dass ich zu den wenigen Ärzten gehöre, die sich mit diesen Erscheinungen eingehend bekannt gemacht haben, dass

ich die Versuche von Battelli (Genf), Jellinek (Wien) und Leduc (Nantes) unter den Händen dieser Forscher gesehen und teilweise wiederholt habe, also eine besonders gründliche Sachverständigkeit auf diesem Gebiete zu besitzen prätendieren darf.

Bei Fräulein S. handelt es sich nun, wie ich bei meiner langen und sorgfältigen Untersuchung sicher behaupten kann, um die oben unter erstens charakterisierte reine Schreckwirkung, kompliziert mit einer mässigen elektrischen Shock-Wirkung und einer funktionellen Schädigung auf die hoch oben im Nacken gelegenen Herzzentren.

Aus der Schreckwirkung ergibt sich die allgemeine Nervosität, aus der Schädigung der Herzzentren usw. die eigenartige Komplizierung dieser Nervosität mit Symptomen der Basedowschen Krankheit.

Der bisherige Erfolg dieser Läsion war, dass sich nun auch die suggestiven Folgen bemerklich zu machen anfangen, besonders unter dem Einflusse der Familie, obschon ich mir die grösste Mühe gegeben habe, durch Gegensuggestion zu verhüten, dass die Patientin sich einredet, durch ihren Unfall schwer geschädigt zu sein und einen Anspruch auf Rente oder Pensionierung zu haben.

Sie ist sicher gegenwärtig nicht dienstfähig, sie ist der Gefahr einer vollen Entwicklung der Basedowschen Krankheit, die so oft zu schweren Augenstörungen und zu Geisteskrankheit führt, ausgesetzt; vor allem aber musste sie den suggestiven Einflüssen der Familie entzogen und einem erfahrenen Nervenarzte, der keine verderblichen Suggestionen gibt, anvertraut werden.

Da ihre Mittel ihr den kostspieligen Aufenthalt in einem Sanatorium nicht gestatten, habe ich sie in einer billigen Pension in J. untergebracht, wo Herr Dr. Z., Sanatoriumsbesitzer, sich ihrer ausnahmsweise als einer externen Patientin annimmt; ich bin jedoch der Meinung, das Frl. S. unzweifelhaft den Anspruch hat, dass die Behörde, in deren Dienste sie infolge unzureichenden Starkstromschutzes erkrankt ist, sich der Verpflichtung nicht entziehe, ein hinreichend vollständiges Heilverfahren zu veranlassen und dessen Kosten zu tragen.

II.

Fräulein L. hat, während sie mit einer etwa 40 Kilometer entfernten Stelle verbunden war, am 7. September 19 . . plötzlich einen heftigen elektrischen Schlag verspürt, der sie zum Umfallen gebracht hätte, wenn Kolleginnen sie nicht aufgehalten hätten. Sie wurde in einem anstossenden Zimmer auf ein Sopha gelegt, war blau, zitterte, klagte über heftigen

Hinterkopf- und Rückenschmerz, grosse Schwäche im Nacken, in beiden Schultern und Armen bis in die Fingerspitzen. Der linke Arm fiel, gehoben, wieder kraftlos hinunter.

Sie wurde nach Hause gebracht, war mehrere Tage schlaflos, deprimiert, weinte, klagte über heftige Schmerzen im Hinterkopf, Nacken, linken Cucullaris und Stereocleidomastoideus, konnte sich nicht frisieren, nur mühsam mit dem rechten Arm Löffel und Messer handhaben, der linke Arm war sehr schwach, besonders die Erhebung über die Horizontale kaum möglich.

Die Ermittelungen ergaben, dass im Momente der Verbindung des von Frl. L. in B. bedienten Apparates mit einem etwa 40 Kilometer entfernten Fernsprechamte S. in B. bei einem Neubau durch ein Versehen der eine Telephonleitung legenden Monteure ein Stück Draht ins Fallen geriet und metallische Leitung zwischen dem gerade beanspruchten Drahte der Verbindung von B. nach S. einerseits und dem einige Meter tiefer liegenden Leitungsdrahte der Strassenbahn, der einen Strom von 500 Volt führt, machte. Beide durch den so unter Starkstrom gesetzten Draht verbundene Beamte — in S. war ein Mann angeschlossen — erhielten einen starken Schlag, wobei die Starkstromsicherungen des Amtes in B. durchfahren wurden; auch der Beamte in S. ist sofort erkrankt, mehrere Monate lang krank geblieben und auch jetzt noch nicht völlig hergestellt.

Fräulein L. verlor während einiger zu Bett verbrachter Tage z. T. die allgemeinen Krankheitserscheinungen; dagegen bestanden Schmerzen im Occiput, besonders längs der linea semicircularis externa nahe der Mittellinie, im Nacken, in der Hals-Nackenmuskulatur weiter.

Sie trat in die Behandlung des zuständigen Kassenarztes. Dieser faradisierte von Ende September bis Ende November die Schmerzpunkte und die geschwächten Muskeln labil mit kleinen Knopfelektroden unter grosser Intensität. Die Kranke zeigte von vornherein eine hochgradige Idiosynkrasie gegen jeden elektrischen Einfluss; trotzdem wurde sie energisch weiter faradisiert und vom Kassenarzte auf ihre Klagen dahin belehrt, dass sie hysterisch sei.

Die Beschwerden, besonders die Schmerzhaftigkeit und anfallsweise Schwäche der linken Nacken- und Schultermuskulatur, nahmen erheblich zu; die Patientin brach die Behandlung ab, trat am 1. November, also 8 Wochen nach dem Unfalle, wieder in Dienst, vertrug aber die zur Herstellung der Verbindungen am Schaltschranke nötige, weitausgreifende

Bewegung der Arme und den Druck des das Telephon tragenden, um den Nacken liegenden Riemens nicht und blieb vom 21. bis 27. November in sehr gedrückter Stimmung, fast ganz schlaflos, wieder zu Hause; ein am 27. November unternommener, trotz schnell sich wieder einstellender Schmerzen und Schwäche der Arme 5 Tage lang fortgesetzter Versuch, wieder zu arbeiten, führte schliesslich ausser zu einer progressiven Schwäche der Arme wieder zu Depression, zu Angstzuständen; sie meldete sich krank, konsultierte mich am 12. Dezember und blieb bis zum 1. April vom Dienste fort.

Ich fand weinerliche Stimmung, sehr weite Pupillen, allgemeine Steigerung der Haut- und der tiefen Reflexe vom Occiput und dem Kinn an bis zum Niveau des 5. Intercostalraums, besonders war durch leise Nadelstiche in die linke Vola ein äusserst heftiges, schnelles Zurückziehen des Arms und Heben der Schulter hervorzurufen; cucullaris und deltoides links waren schlaffer und dünner als rechts, sehr druckempfindlich; äusserst druckempfindliche Stellen fanden sich beiderseits neben der spina occipitalis, längs des vorderen Randes des linken sternocleidomastoideus; die galvanische Erregbarkeit der Schulter- und Oberarmmuskulatur einschliesslich des triceps und biceps merklich gesteigert; es besteht eine ungewöhnliche Empfindlichkeit gegen alle elektrischen Einflüsse; deshalb musste auf eine genaue Messung der faradischen Erregbarkeit während der ersten Wochen der Beobachtung verzichtet werden; auf dem Isolierschemel der Influenzmaschine bei langsamer Drehung der Scheiben, unter Erdung des negativen Pols, fühlt sich die Patientin bald sehr unwohl, weint, bittet, sie herunterzunehmen. Der Tastsinn zeigt sich nicht verändert, die faradische Erregbarkeit der Haut-Sensibilität ist erheblich gesteigert.

Die Behandlung richtete sich zunächst gegen die Angst und gegen die Entstehung von Autosuggestionen über die Unfallsfolgen; die Patientin wurde auch bald mutiger, schlief besser, liess sich gern massieren; sie erhielt öfter warme Bäder, Bromsalze, Chloralhydrat in kleinen Dosen. Unter Chloral zeigte sich auch vorübergehend die Elektrohyperästhesie geringer; sobald aber eine steilere Stromschwankung, besonders eine induzierte, appliziert wurde, oder der Hauch einer statischen Effluvation oder eines Teslatransformators, trat Übelbefinden und grosse Ängstlichkeit ein. Beide Arme, der linke erheblich mehr, ermüdeten sehr schnell; eine Belastung des Arms mit einem Kilogramm — das Tragen eines Buchs, eingekaufter Nahrungsmittel — löste in 5—10 Minuten Schwäche und Gefühl des Abgestorbenseins im Arme aus. Die Schrift blieb zunächst noch stark verändert, erinnerte an die Schrift bei leichter Chorea.

Als dann durch galvanische Lokalbäder die Schmerzen und die Ermüdbarkeit der Arme erheblich geringer geworden waren, schickte ich die immer blasser und magerer werdende Patientin ins Riesengebirge, wo sie vom 23. Januar bis zum 31. März blieb. Sie schonte hier ihre Arme, genoss die Wintersonne des Gebirges, machte jeden Wintersport mit, der ohne Anstrengung der Arme möglich ist, und kam Ende des Gebirgswinters heiter, rosig, mit 12 Pfund Gewichtszunahme und ohne lokale Beschwerden zurück.

Jedoch bestand noch Volumens- und Tonusabnahme, sowie Druckempfindlichkeit in den hinteren und vorderen Halsmuskeln, im cucullaris und sternocleidomastoideus, während biceps und triceps normal erschienen; dem entsprach auch die galvanische Erregbarkeit.

Mit der Wiederaufnahme des Dienstes stellten sich aber Schmerz und Druckempfindlichkeit im Hinterkopf und Nacken wieder ein; nach vierzehn Tagen berichtet mir die Patientin wieder, dass der zur Verbindung der Apparate ausgestreckte Arm niedersänke; sie wurde, weil sie einmal anstatt zu arbeiten weinte, einige Tage vor Pfingsten aus dem Dienste geschickt und blieb nun wieder 5 Wochen, bis Ende Juni, fort, ich nahm die regelmässige Behandlung wieder auf, suchte vor allem psychisch beruhigend zu wirken, liess beide Arme in Wannen mit warmem Wasser baden, die mit der Anode einer Batterie unter 8—10 m. A. verbunden waren, massierte die schmerzhaften Stellen an Occiput, Nacken- und Schultermuskulatur mit sachter Effleurage; in der Tat gingen die lokalen Symptome an Ausdehnung und Intensität nun schnell zurück, es entwickelte sich aber immer mehr ein larmoyant-sentimentales Wesen bei dem früher stets frischen und „forschen" Mädchen und pari passu damit eine zunehmende Appetitlosigkeit; im Juni trat sie wieder in Dienst, wurde nun aber nicht unmittelbar an den Apparaten, sondern zur Aufsicht beim Apparatenpersonal verwendet; das veränderte Wesen und die Appetitlosigkeit blieben aber bestehen und jede Probe zeigte, dass bei allen energischen Bewegungen schnell wieder Ermüdbarkeit, Schmerz und eine eigentümliche, an leichte Chorea erinnernde Unruhe beider Arme eintrat; die Schrift, die nun wieder ihre frühere korrekte Form angenommen hatte, erhielt nach etwa 30 Zeilen wieder denselben Charakter, wie bei meiner ersten Untersuchung.

In diesem Zustande habe ich die Patientin mit kurzem Urlaube in ein ruhiges Seebad Mitte Juli gehen lassen.

III.

Es wird nun von Interesse sein, zu erfahren, welche Folgen der Unfall der zuletzt erwähnten Patientin für den Beamten gehabt hat, der mit ihr durch eine Leitung des Fernamtes verbunden war. Ich lasse die mir zufällig zugänglich gewordene autobiographische Krankengeschichte dieses Falles hier, bis auf einige unwesentliche Abkürzungen verbotenus, folgen.

Ich arbeitete am 7. September an den für die Ferngespräche bestimmten Leitungen. In der direkten Leitung S.-B., in der nur genannte zwei Ämter eingeschaltet sind, hatte ich eben die B.er Dame um einen gewünschten Anschluss gebeten, als ich — den Hörer am linken Ohr — eine heftige elektrische Stromentladung in dasselbe erhielt. Diese Entladung, um 11 Uhr vormittags, war ebenso, wie die noch folgenden, nicht kurz, knackend, stechend wie ein Blitzschlag — ich habe solche wiederholt in meiner Praxis beobachtet —, sondern länger anhaltend, dem Geräusch und Schmerzgefühl nach eher vergleichbar mit einem mit einer Säge vollführten Zug oder Strich. Heftig erschrocken dachte ich im ersten Augenblick, die Dame hätte mir mit auf unerklärliche Weise verstärktem Induktionsstrom, also mit der Kurbel in die Ohren geläutet und wollte dieses gerade feststellen, als ich einen noch stärkeren Schlag abermals ins linke Ohr erhielt. Ich legte erregt den Hörer hin, nahm ihn aber wieder mit der rechten Hand auf, um die mir unerklärliche Sache aufzuklären. Blitz war es nach meinem Gefühl nicht und Starkstrom konnte ich nicht vermuten. Nunmehr erfolgte eine dritte Entladung, die ich aber, da ich rechtzeitig den Hörer fallen liess, nur in geringerem Masse in das rechte Ohr bekam. Wie ein Kollege, der halblinks hinter mir sass, sagte, wäre ich beim ersten Schlage fast vom Stuhl gefallen. Ich empfand nunmehr heftiges Stechen im linken Ohr, sowie ziehende Schmerzen, hauptsächlich in der linken Kopfseite oben, im Hinterkopf bis in das Genick. Ferner spürte ich eine gewaltige Nervenspannung; ich hatte das Gefühl, es müsse mir Erleichterung schaffen, wenn ich hätte weinen können. Auch Atemnot und Herzklopfen stellte sich ein, so dass ich in kurzen Zwischenpausen an das offene Fenster gehen musste und dort tief Atem zu holen versuchte. Ungefähr $^{3}/_{4}$ Stunden nach dem ersten Schlage — ich hatte mich immer wieder an meinen Arbeitsplatz gesetzt und zu arbeiten versucht — fiel ich gänzlich ab; ich konnte z. B. an dem Apparat, vor dem ich sass und der 12 Verbindungsschnüre hat, keine Schnur sehen bezw. finden. Auf eine verworrene Frage von mir, wo auf einmal die Schnüre seien, gab ein Kollege sie mir in die Hand mit den Worten: „Aber hier sind sie ja, Du siehst wohl schlecht“. Dies ist mir nachträglich erst erzählt worden. Dann bin ich mit Mühe und schwankend nach Hause gegangen. Meine Frau merkte mir, weil ich so sehr mit Atemnot und Herzbeschwerden zu kämpfen hatte und weil ich sehr aufgeregt war, bald an, dass mir etwas zugestossen war.

Mittag vermochte ich nicht zu essen, da ich auch mit Brechreiz zu kämpfen hatte; wohl aber trank ich zwei Gläser Zitronenlimonade, die mir sehr gut taten. Um 2 Uhr ging ich zu Herrn Dr. W., der mich bald ins Bett

schickte, mir Bitterwasser und ein Brompräparat verordnete und mich fortgesetzt Eisumschläge auf Kopf und Herz machen liess. Kaum war ich im Bett, als überaus heftige, krampfartige Herzbeklemmungen auftraten. Letztere hielten mit kurzen Unterbrechungen den ganzen Nachmittag an. Diese — ich nenne sie „Herzkrämpfe" — begannen mit Schmerzen, die im Hinterkopf anfingen, dann bis in die Schläfe zogen und von dort — gewissermassen als Krampf — zum Herzen übersprangen. Diese Erscheinungen traten so heftig auf, dass ich im Bett förmlich in die Höhe ging und mehrmals „wegzubleiben" schien, um so mehr, als infolge von Atemnot die Brust mächtig zu arbeiten hatte. Abends, gegen 9 Uhr, wurde ich etwas ruhiger, ich habe die Nacht auch etwas geschlafen. Diese „Herzkrämpfe" liessen in der Folgezeit nur ganz allmählich nach, sind aber ebenso wie die gleichzeitig mit auftretende Atemnot nie ganz verschwunden. Sie traten späterhin meistens in der Nacht auf, so vor ca. 14 Tagen einmal drei Stunden lang. Am Tage waren sie in der Folgezeit nur von kürzerer Dauer.

In den nächsten auf den Unfall folgenden Tagen zeigte sich ein dumpfer, schmerzhafter Druck auf den Kopf, der wohl drei Monate ununterbrochen angehalten und mich sehr gepeinigt hat, mir auch jedes Denken erschwerte. Ich mochte niemanden sehen, nichts hören. Jeder Ton tat mir weh, jeder Lichtstrahl. Es war als ob mein ganzer Kopf weich war; bloss „hindämmern" wollte ich. Ferner hatte ich, solange ich im Bett war — 12 Tage lang —, das Gefühl, speziell im Hinterkopf, als wäre ich in einem lose gekoppelten, stark schaukelnden Eisenbahnwagen. Ferner sah ich ungenau, oft doppelt und dreifach; auch „mouches volantes", ganze Schwärme zogen an meinen Augen vorbei; auch heute noch. Einige Tage nach dem Unfall stellte sich eine heftig schmerzende Entzündung im linken Mittelohre ein, die nach ca. 10 Tagen verschwand, um dann im geringeren Masse rechts aufzutreten. Als ich nach 12 Tagen das Bett verliess, während welcher Zeit ich unausgesetzt Eisumschläge auf Kopf und Herz gemacht hatte, konnte ich kaum gehen. Es war mir, als ob ich auf einem stark rollenden Schiff mich befand; auch war ich sehr unsicher beim Treppensteigen und beim Gehen auf der Strasse, speziell beim Überschreiten der Gerinne, weil ich die Stufen nicht richtig sah, bezw. die Entfernungen derselben von einander nicht richtig abzuschätzen vermochte. Mein Gehör, in dem ich ab und zu Stechen verspürte, funktionierte ebenfalls nicht richtig; häufig, wenn meine Angehörigen in gewohnter Weise mit mir sprachen, verstand ich nichts; ein andermal empfand ich die leisesten Geräusche so heftig, dass ich erschrak. Einmal z. B. sang mein dreijähriges Töchterchen nicht etwa laut im Nebenzimmer; ich ging ans Fenster, weil ich glaubte, eine Militärkapelle komme die Strasse herauf. Auch Schwindelgefühl, so dass ich glaubte, ich falle um, und Zittern in den Knieen trat auf. Ein Übel löste immer das andre ab. Mehrere Wochen hindurch war ich direkt menschenscheu. Es kostete mich grosse Überwindung, eine nur einigermassen belebte Strasse zu betreten; ich empfand bei dem Gehen, Husten und Sprechen der Leute ordentlich Schmerzen. Auch sehr lichtempfindlich wurde ich; Lampenlicht ertrage ich nur, wenn es durch einen Lampenschirm gedämpft wird. Lesen verursachte mir direkt physisches Unwohlsein. Auch verschwammen die Zeilen ineinander. Mein Gedächtnis funktionierte mangelhaft; zusammen-

hängend logisch zu denken war mir lange fast unmöglich. Der Appetit war leidlich, der Schlaf häufig mangelhaft.

Am 4. Januar trat ich wieder in den Dienst, in eine ruhige Dienststelle. Während ich kurz vorher krampfartige Erscheinungen in der rechten Ferse gespürt hatte, traten nunmehr gleiche — schreibkrampfähnliche — Erscheinungen in beiden Händen, sowie im rechten Unter- und Oberarm auf, die mir beim Anfassen, Zugreifen und Schreiben so hinderlich waren, dass ich mit den Händen einige Male gar nicht arbeiten konnte. Nach einigen Wochen verschwanden diese Beschwerden. Am 15. Februar ging ich auf Erholungsurlaub und habe dann vom 8. März bis 13. Juli wieder Dienst getan. Seit dem 13. Juli bin ich wieder ausser Dienst, weil ich wieder unter Kopfschmerzen und Kopfdruck, Herzaffektionen und Lichtempfindlichkeit der Augen zu leiden habe. Ich nehme wieder Brom, welches mir so gute Dienste geleistet hat und gehe am 23. d. M. auf sechs Wochen nach K. ins Gebirge.

Da es möglicherweise für Sie, Herr Dr., von Interesse ist, teile ich Ihnen mit, dass ich im 34. Lebensjahre stehe, Soldat gewesen bin, und nie vorher etwas mit Nerven zu tun gehabt habe.

Diese drei Krankengeschichten sind ja weit davon entfernt, abgeschlossen zu sein, und man wird es deshalb vielleicht unangebracht finden, dass ich sie mitteile. Andrerseits ist es sehr schwer, mit einiger Sicherheit zu prognostizieren, wann sie überhaupt einen Abschluss erreichen werden; sie zeigen in merkwürdiger Mischung Symptome organischer und funktioneller Nervenstörung, und bei der ja immer noch recht grossen Unvollkommenheit unserer Untersuchungsmethoden wird man auch aus der Betrachtung unabgeschlossener, an objektiven Tatsachen armer Prozesse zu einer gewissen Orientierung zu kommen suchen müssen.

Analysiert man die Symptome, so zeigt es sich, dass das gleichzeitige Auftreten von Dyspnoe, Tachycardie und schwerer Oppression im Vordergrunde der Erscheinungen stehen in den Fällen I und III, dass diese wichtigen Symptome bei beiden Fällen vom Unfall an bis heute bestehen, und dass somit Fall I und III in den wichtigsten Punkten einander mehr ähneln, als II und III untereinander, die doch ätiologisch absolut identisch sind, denn beide Fälle stellen Duplikate ein und desselben Unfalles dar.

Die tabellarische Übersicht der Symptome in diesen drei Fällen kann natürlich kein vollkommenes Bild der Symptomatologie derselben geben; ich habe die Hauptsymptome jedes Falles in dieser Tabelle durch ein ! angedeutet; die zeitlichen Verhältnisse, der eigentümliche Verlauf, während dessen bald diese, bald jene Symptomengruppe prävalierte, lässt sich tabellarisch nicht veranschaulichen.

	Fall I	Fall II	Fall III
Psychische Symptome			
Schlaflosigkeit . . .		|	
Depression	|	|	|
Weinerlichkeit . . .	|	|	
Hypochondrische Auffassung	|!		
Ängstlichkeit		|	
Angstanfälle	|	|	
Zwangsvorstellung . .		|	
Schwindel			|!
Mattigkeit	|	|	
Appetitlosigkeit . . .		|	
Sensibilitäts-Störungen			
Formikation		|	
Neuralgische Schmerzen		|!	|
Myalgien		|!	
Sensorische Hyperästhesie			|!
Hörstörungen			|
Sehstörungen			|

	Fall I	Fall II	Fall III
Motilitäts-Störungen			
a) im Gebiet willkürlicher Innervation			
Ernährungsstörungen der Muskulatur . .		|!	
Muskelschwäche . . .		|!	
Schnelle Ermüdung .		|	|
Tremor			
Choreoide Phänomene .		|	
Schriftstörungen . . .		|!	|
b) im Gebiete der unwillkürlichen Innervation			
Dyspnoe	|!		|!
Tachycardie	|!		|!
Pupillenstörungen . .		|	
Schwellung der Thyroidea .	|		

Eines frappiert in allen drei Fällen, das Fehlen oder doch — falls meine Beobachtung nicht eingehend und subtil gewesen sein sollte — die sehr geringe Ausprägung vasomotorischer Störungen; Depression und Angst, ist in allen drei Fällen in geringem Grade dauernd, in höherem Grade anfallsweise — zumal im Zusammenhange mit der Menstruation — dagewesen, aber nicht in Verbindung mit vasomotorischen Störungen, sondern im Falle I und III in Verbindung mit Tachycardie und Dyspnoe, im Falle II in Verbindung mit heftigem Hinterkopfschmerz und erheblicher Mydriasis.

Eine genaue Prüfung der Symptome ergibt nun, dass in allen drei Fällen neben mehr allgemeinen Symptomen eine Gruppe mehr lokaler Symptome besteht, allerdings nicht im Sinne einer schematischen Lokalisierung.

Als Bezirke solcher deutlicher lokalisierten Erscheinungen finden sich

in Fall I	Herz- und Atmungs-Innervation	
in Fall II		Sensible Nerven und Muskulatur der gesamten Occipital-, der meisten Hals-, Nacken- und Oberarmregionen links.
in Fall III	Herz und Atmungs-Innervation	Hörnerv und Labyrinth.

Es bleibt doch nun kaum etwas anderes übrig, als anzunehmen, dass die Art, wie die drei Verunglückten während des Starkstrom-Shocks den Hörer am Kopfe oder nahe dem Kopfe hielten, ausschlaggebend war für die Lokalisation der elektrischen Einwirkung.

Von Fall I und II weiss ich genau, auch durch Aussagen von Augenzeugen — dass sie den Hörer im Moment des Shocks in der linken Hand hielten und sofort darauf fortlegten, um ihn nicht wieder aufzunehmen; in Fall III ergibt die Darstellung des Patienten, dass der erste Shock nicht hinreichte, um ihn zur Einstellung der Tätigkeit zu bestimmen, sondern dass er erst einen zweiten und dritten Shock abwartete, von denen der zweite der stärkere war. Es ist nicht auszuschliessen, dass sich zwischen dem ersten und zweiten Shock doch der Hörer etwa verschoben hat, so dass der eine Shock auf dem Wege durchs Mittelohr das Labyrinth, der andere die Herz- und Atmungszentren in in der Medulla oblongata lädiert hat.

Entsprechend scheint mir die Annahme nötig und begründet, dass im Falle I am stärksten die Atmungs- und Herz-Zentren in der medulla oblongata — also wesentlich der Vaguskern —, im Falle II die Kerne der sensiblen und motorischen Fasern für die Gegend vom Occiput bis zum Niveau der unteren Cervical-Nerven betroffen worden sind.

Es entsteht natürlich die Frage, welcher Prozess in den betroffenen nervösen Organen — abgesehen von der in allen drei Fällen anzunehmenden psychisch vermittelten allgemeinen Shockwirkung — vor sich gegangen ist.

Handelt es sich dabei lediglich um eine hochgradige Erschöpfung der gereizten Nervenfasern, um eine schwer reparable Störung der Funktion der Nervenzellen, um gleichzeitige Läsion der Blutgefässe in den zumeist befallenen Teilen des Nervensystems, um eine durch den Shock bedingte Zerstörung der Nervensubstanz, oder um etwas anderes?

Ich gestehe, auf diese Fragen nicht sogleich eine befriedigende Antwort in promptu zu haben. Schon die physikalische Seite der in Rede stehenden Vorgänge ist nicht völlig klar.

Einfach ist natürlich die Art des Stromeintritts in die Leitung. Im Fall I ist eine Stromschleife einer Blitz-Entladung — nicht etwa die direkte volle Blitzentladung — in den Leitungsdraht gefahren, mit dem das am Ohr der Telephonistin liegende Telephon gerade verbunden war.

In Fall II und III ist der Telephondraht auf die 500 Volt Spannung führende Starkstromleitung gefallen, und dieser Kontakt des, wie die Starkstromleitung, gut geerdeten Telephondrahtes hat eine Nebenschliessung zur Strassenbahnleitung gemacht, durch die sich ein unbekannter, aber gewiss recht erheblicher Teil der disponibeln Spannung ergossen hat; und zwar nicht direkt in den Körper des Getroffenen, sondern — wie auch in Fall I — in den bekanntlich mit einem Mikrophon ausgestatteten Hörer.

Es ist nun nicht anzunehmen, dass etwa durch schlechte Isolierung der Leitungsschnur des Hörers oder durch leitende Verbindung des dem Ohr anliegenden Randes des Hörers mit den Spulen der Elektromagnete desselben metallischer Kontakt des Betroffenen mit dem Telephondrahte hergestellt gewesen wäre; auch wäre das immer nur eine unipolare Verbindung gewesen, und die Einschaltung des Betroffenen in den Stromkreis hätte nun die Berührung mit dem anderen Pole, etwa durch Erdleitung zur Voraussetzung. Diese letztere Annahme kommt mir unwahrscheinlich vor, da ja nicht anzunehmen ist, dass alle drei Personen mit feuchten Schuhen auf feuchtem Grunde gestanden haben.

Es ist also am wahrscheinlichsten, dass der Hörer die Rolle eines Kondensators gespielt hat, der wiederholt durch die selbstverständlich nicht nur einmalige, sondern lockere und deshalb variable Berührung zwischen Telephon- und Bahnleitung geladen worden ist, und sich dann in den Kopf der Getroffenen hinein entladen hat. Wir kennen ja zur Genüge die Wirkung von Kondensator-Entladungen.

Dasselbe würde auch für das Hineingeraten leichterer atmosphärischer Entladungen in die Telephonladung gelten; für das Eindringen eines vollen Blitzschlages, der die Isolierungen an den Spulen und der Muschel des Hörers verbrennt, lägen die Dinge freilich etwas komplizierter.

Danach wären also Vorfälle, wie die hier besprochenen, anders zu konstruieren und zu interpretieren, als Fälle, in denen jemand mit beiden Polen einer Starkstromleitung — etwa durch das Anfassen ihrer beiden Leitungen, durch Berührung des einen Pols an irgend einem Apparate, während er mit nassen Stiefeln auf feuchtem Boden

steht und so durch die Erde Leitung mit dem anderen Pole erhält — in kürzeren oder längeren Kontakt gekommen ist.

Wünschenswert ist eine genaue experimentelle Prüfung dieser Vorkommnisse. Die nicht absolut durchsichtigen physikalischen Verhältnisse bei Kontakt einer Telephonleitung mit einer Starkstromleitung liessen sich natürlich ohne gleichzeitige Einschaltung eines tierischen Körpers untersuchen; dann wäre das Tierexperiment am Platz; freilich wird man die Tragweite dieser Methode nicht überschätzen dürfen. Es ist doch auch wohl möglich, dass die Verschiedenheit der Wirkung einer und derselben Ursache (im Falle II und im Falle III) nicht zurückzuführen ist auf Differenzen in der Kontaktstelle des Hörers, sondern auf Differenzen in der nervösen Organisation der beiden betroffenen Individuen. Fall I und III zeigen bei durchaus verschiedener Ätiologie die grösste Übereinstimmung, Fall II und III bei durchaus identischer Ätiologie die grösste Verschiedenheit; wenn man daraus nicht schliessen will, dass in der Medizin die Kausalität überhaupt aufhört, bleibt doch nur die Annahme, dass entweder zufällige räumliche Faktoren, oder dass die Eigenart der Organisation die Differenzen in den Wirkungen bedingt haben.

Neurologisch sind die oben kurz skizzierten drei Fälle gewiss vom höchsten Interesse. Das menschliche Bedürfnis der Klassifikation macht sich ihnen gegenüber natürlich auch geltend, und ein Fanatiker des Klassifizierens wird in die Gefahr geraten, Fall I etwa als basedowoide Neurose, Fall III als eine Komplikation einer Menièreschen Krankheit mit einer basedowoiden Neurose und Fall II als eine subakute Poliomyelitis im obersten Halsmark zu klassifizieren; ars est multiplex. Es sind gewiss auch noch viel geistvollere Klassifikationen möglich; aber ich halte das Bestreben, Fälle aus diesem wenig durchforschten Gebiete um jeden Preis in das Rahmenwerk der traditionellen speziellen Nervenpathologie pressen zu wollen, für unangebracht.

Es handelt sich um individuelle Krankheitsbilder, deren Verständnis mit den Hilfsmitteln gefunden werden muss, die uns die allgemeine Pathologie des Nervensystems zur Verfügung stellt.

Darüber wird weiterhin noch zu reden sein.

Es ist natürlich, dass man sich, einem derartigen Material gegenüber gestellt, nach Vorarbeiten in der Literatur umsieht.

Es handelt sich für mich nicht darum, hier alles Erreichbare zu zitieren; die von Neurologen geschriebene Literatur ist aber — ich berufe mich dabei, ohne alle bibliographischen Vorstudien, lediglich auf mein

Gedächtnis — ausserordentlich arm an Publikationen auf diesem Gebiete; wir haben einige Mitteilungen von Eulenburg, die Beachtung verdienen, zumal den sehr interessanten Artikel in No. 3, 1901, der Ärztl. Sachverständigen-Zeitung. E. sagt dort u. a.:

„Ein 48jähriger Mann, der zwar vorher infolge von Influenza zeitweise „nervös", aber niemals gehirnkrank war, wird vom herabfallenden Leitungsdraht der Strassenbahn am Kopfe getroffen. Er stürzt — wohl vorübergehend bewusstlos — zu Boden, kann sich aber nach kurzer Zeit wieder erheben, taumelt, klagt über Schmerzen und Summen im Kopfe und ein „taumeliges" Gefühl im ganzen Körper. Es sind dies Erscheinungen, wie sie auch in leichteren Fällen von elektrischen Verunglückungen sehr gewöhnlich beobachtet werden, um dann in der Regel bald, spätestens nach 24 Stunden, zu verschwinden, während sie im vorliegenden Falle nicht nur persistierten, sondern in stetiger Zunahme bis zur gefahrdrohenden Höhe sehr rasch anwuchsen, um schliesslich in einer weitgehenden Vernichtung fast aller sensitiven, motorischen und sensoriellen Gehirnfunktionen ihren Abschluss zu finden. 2—3 Stunden nach dem Unfalle wird der Kranke im Wagen zum Arzte gebracht, klagt dort über heftige Schmerzen im Kopfe, im rechten Arme und Beine, und über eigentümliche Empfindungen im linken Auge. Er bekommt während der ärztlichen Befragung einen mit Bewusstseinstrübung verbundenen schweren Krampfanfall, der ganz und gar den Charakter der sog. Rindenepilepsie (Jacksonsche Epilepsie) trägt, und von dem es nur durch die Art der Beteiligung der rechtsseitigen Gliedmassen sicher ist, dass er von der sog. motorischen Rindenregion der linken Schädelhemisphäre ausgeht, somit als irritative Nachwirkung der durch den Strom gesetzten örtlichen Läsion der Grosshirnrinde aufzufassen ist usw. Über die Art der im Gehirn hervorgerufenen und zurzeit bestehenden gröberen und feineren strukturellen Veränderungen lassen sich nur mehr oder minder haltbare Vermutungen aufstellen. Es ist anzunehmen, dass namentlich entzündliche Veränderungen an den weichen Häuten an der Gehirnoberfläche und zum Teil auch in der Tiefe der Gehirnwindungen, vielleicht auch vielfache kleinere Blutaustritte im Gehirn, den schweren Funktionsstörungen zur Grundlage dienen."

Ich übergehe andere Mitteilungen aus neuerer Zeit, die weder nach physikalischer, noch nach klinischer oder pathologisch-anatomischer Seite wichtiges bringen — z. B. die von Aspinall, Hoche u. a. — und will nur noch zwei Autoren zitieren, d'Arsonval und S. Jellinek. Der französische Autor behandelt lediglich den Tod durch Elektrizität (C. R. de

la Soc. de Biologie 1887, p. 94) und kommt auf Grund seiner Tierversuche zur Annahme von zwei Mechanismen.

Die Entladung einer starken Elektrisiermaschine führt ganz direkt zu Zerstörungen der betroffenen Gewebe und zur Aufhebung ihrer physiologischen Eigenschaften.

Die in der Industrie üblichen Ströme wirken mehr in reflektorischer Weise hemmend auf das Nervensystem; die Hemmung kann auch vorübergehender Natur sein.

Jellinek hat das grosse Verdienst, in einer Reihe von Artikeln, die den Lesern dieser Zeitschrift aus meinen ausführlichen Referaten bekannt geworden sind, durch zahlreiche Tierexperimente mit Starkstrom mittlerer und hoher Spannung, und durch sorgfältige pathologisch-anatomische Untersuchungen an seinen Versuchstieren und an mehreren durch Industrie-Strom getöteten Menschen wichtige Punkte der uns hier beschäftigenden Fragen systematisch und in grossem Stile behandelt zu haben. Er hat in etwas lockerer Form seine bisherigen Untersuchungen in einem interessanten Buche zusammengefasst*) und ergänzt; es zeigt sich dabei, dass er allerdings als Experimentator und pathologischer Anatom tiefer blickt und eingehender analysiert, denn als Kliniker. Er ist offenbar nicht speziell neurologisch durchgebildet. Dazu kommt, dass er fast nur tödliche oder leichte, schnell heilende Fälle gesehen hat; mittelschwere Fälle, wie ich sie oben kurz skizziert habe, sind ihm anscheinend nicht zu Gesicht gekommen.

Das wichtigste Ergebnis seiner Forschungen ist, dass sowohl bei durch Starkstrom getöteten Menschen und Tieren, wie bei Tieren, die die Stark-Elektrisierung überlebten und dann zur Untersuchung getötet wurden, ausser multiplen, makroskopisch nicht sichtbaren Blutergüssen in die graue Substanz der Hirnrinde und des zentralen Röhrengraus, akute Neuritiden und — das ist jedoch nur bei überlebenden Tieren festgestellt — neben den Blutungen System-Erkrankungen des Rückenmarks sich finden; ausserdem Veränderungen der Ganglienzellen, zumal in den Vorderhörnern, meist in der medulla oblongata, die als Dislocierungen oder Expulsionen des Zellkerns oder als Zellzertrümmerung erscheinen. Jellinek sagt:

„Die schädigende Wirkung der anatomischen Komponente entfaltet sich vorwiegend — nicht ausschliesslich — im Zentralnervensystem. Den histologischen Befunden ist zu entnehmen, dass es zu ausgedehnten

---

*) Elektropathologie. Die Erkrankungen durch Blitzschlag und elektr. Starkstrom in klinischer und forensischer Darstellung. Stuttgart 1901.

Zerstörungen der Hirnrinde, des Rückenmarks und der Medulla oblongata kommen kann. Von der Zerstörung der lebenswichtigen Nervenkerne (Vaguskern, Respirationszentrum) wird es abhängen, welche Ausfallserscheinung sich zunächst einstellt, welche Manifestation die primäre ist."

An einer anderen Stelle gibt er folgendes wichtige Resumé seiner Tierversuche:

„Der Tod durch Elektrizität tritt in drei Formen auf:

a) Entweder blitzartig:

Meerschweinchen und Mäuse gehen meist blitzartig zugrunde. Sofort nach Stromeintritt ist jede Lebensfunktion erloschen: Ursache und Wirkung fallen gewissermassen in ein- und dieselbe Zeitphase.

b) Primäre Herzlähmung:

Bei Pferden und manchmal auch bei Meerschweinchen ist es das Herz, das zuerst seine Funktionen einstellt.

c) Primäre Atmungslähmung:

Es ist dies die häufigste Todesart.

Stillstand der Atmung, das Herz schlägt noch kurze Zeit fort.

Die verschiedenen Formen des elektrischen Todes wollen manche Autoren, wie Prevost und Batelli, als jeweilige Folge eines in der einen oder anderen Weise qualifizierten Stromes gelten lassen. Gleich- und Wechselstrom, die Höhe der Spannung, die Zahl der Perioden usw. soll von Einfluss auf die endgültige Wirkung sein.

Tiere, die das elektrische Trauma überlebten, erholten sich meist oder sie trugen Störungen davon, an denen sie später zugrunde gingen. Im Anschlusse an das Trauma entwickelten sich oft Lähmungen, Blutungen aus der Nase, Protrusio bulborum; einmal eine Luxation der Linse in die vordere Augenkammer, Entfärbung der Iris, Ejaculatio seminis usw. In den späteren Tagen traten oft Fieber, Mangel an Esslust, eine Pneumonie usw. auf, die zum Exitus führten. Hervorgehoben zu werden verdient, dass sich Lähmungen auch erst 24 und 48 Stunden später, i. e. nach dem Trauma, bemerkbar gemacht haben.

5. In den Narkoseversuchen nahmen die Kaninchen und zum Teil auch die Meerschweinchen eine Sonderstellung ein. Elektrizität und Chloroformnarkose erwiesen sich in manchen Fällen geradezu als Antagonisten.

Bei überlebenden Tieren entwickelten sich manchmal dieselben Sekundärerscheinungen, welche bei nicht narkotisierten zu beobachten waren."

Ich teile in der folgenden Tabelle die von J. beobachteten Fälle, welche mit dem Leben davon kamen, in aller Kürze mit.

No. des Falls	Art der Schädigung	Periphere Nervensymptome	Zentral bedingte Nervensymptome	Ausgang
1.	750 V. Drehstrom	Schmerzen in den Achselhöhlen	Lange Zeit hindurch Kopfschmerz	Heilung
2.	350 V. Gleichstrom		Schwere im Kopf; Blässe	Heilung
3.	600 V. Gleichstrom	Empfindlichkeit von Hand u. Arm		Heilung
4.	220 V. (?) Gleichstrom (auf die rechte Hand allein einwirkend)	linksseitige Facialis-Lähmung	Kopfschmerz	Heilung in 14 Tagen
5.	500 V. Gleichstrom		Blässe, Zittern, Kopfschmerz	Heilung
6.	500 V. Gleichstrom	Taubheit der betroffenen Hand	Kopfschmerz Ageusie	Heilung
7.	500 V. Gleichstrom		Angstneurose, Verringerung der Merkfähigkeit. Schlafsucht	Siechtum
8.	110 V. Gleichstrom	Schmerzen im betroffenen Bein		Heilung
9.	500 V. Gleichstrom	Parese des betroffenen Arms	Kopfschmerz, Vergesslichkeit, Steigerung der tiefen Reflexe	Noch ungewiss
10.	500 V. Gleichstrom	Parese des betroffenen Arms	Kopfschmerz	Noch ungewiss
11.	4000 V. Wechselstrom		Kopfschmerz	Heilung
12.	500 V. Gleichstrom	Retinitis	Schwäche	
13.	5500 V. Drehstrom		Erbrechen Amnesie	Amputation des verkohlten linken Arms
14.	Nicht angegeben. Strom einer Schnellbahn also mindestens 500 V.		Delirante Zustände Amnesie	Besserung

Einen dieser Fälle aber möchte ich hier nach dem Original vollständig zitieren, weil er von grossem Interesse für die Differenz der unmittelbaren Shockwirkung und die Entwicklung der ihr folgenden bleibenden Störungen ist.

„Anton D., 28 Jahre alt, Motorführer der städtischen Strassenbahnen, erlitt am 2. August 1901 während des Dienstes einen elektrischen Unfall, indem die Kurbel des sog. Kontrollers, die er mit der linken ungeschützten Hand hielt, stromführend wurde. Er erzählt hierüber selbst folgendes:

Sonntag abend 10 Uhr fuhr ich von der Seidelgasse zum Hotel „Roter Hahn". Ich fuhr vorschriftsmässig; Kontroller stand auf XI; beide Motoren waren nebeneinander geschaltet. Plötzlich bekam ich in beiden Händen Strom; ich verspürte einen schrecklichen Schmerz im ganzen Körper, aus den Augen sind mir förmlich Flammen herausgetreten. Ich glaubte, die Hände seien mir abgebrochen. Dabei wurde ich auf den Kontroller mit grosser Gewalt hinaufgedreht (mit einwärts gedrehten Armen und Händen) und fuhr so ca. 20 Schritte weiter; besondere Hilferufe glaube ich nicht ausgestossen zu haben; ich dachte, es muss mit mir bald zu Ende sein. Wie Bekannte dagegen angeben, soll ich vor Schmerz gebrüllt haben, dass der Kondukteur aufmerksam wurde und den Bügel (Stromabnehmer) herunterzog. Trotz meiner furchtbaren Situation glaube ich Versuche gemacht zu haben, mit dem Knie den Automaten auszuschalten. Kaum war der Bügel abgezogen, stand ich in den Armen eines Fahrgastes, der mich wahrscheinlich vom Kontroller losgerissen hatte. Meine erste Frage soll gewesen sein: „Was war das?" und gleich griff ich wieder ganz ahnungslos und verwirrt nach dem Kontroller, schrie jedoch sofort auf, da ich einen neuen Schlag bekommen hatte. Der Kondukteur befreite mich sofort. Da keine Isolierhandschuhe vorhanden waren und wir weiter fahren wollten, berührte ich zum dritten Male mit ungeschützten Händen den Kontroller und bekam einen neuerlichen Schlag. Jetzt wurde definitiv ausgeschaltet und der Wagen geschoben; ich stand vorn an der Brüstung und konnte noch mit dem rechten Fusse läuten. Ich fuhr bis in die Remise. Von dort ging ich (mit dem Funktionär H.) in die Kanzlei zur Protokollaufnahme. Ich wollte selbst schreiben, doch konnte ich die Feder nicht führen, weil ich zu sehr zitterte. Ich ging nachher zu Fuss nach Hause. Anfangs ging es gut, in der Schlachthausgasse begann ich plötzlich zu wanken, alles hub an, sich um mich zu drehen, es überfiel mich ein Angstgefühl, ich begann zu weinen. Drei Kondukteure, die des Weges kamen, erfassten mich bei den Armen und setzten mich in einen Tramwaywagen, auch

zur Haustüre wurde ich von ihnen geleitet. Aufgesperrt habe ich selbst, ich ging allein in meine Wohnung hinauf. Als ich da ankam — $1^1/_2$ Stunden nach dem Unfalle —, begann ich wieder zu weinen. Ich hatte starke Kopfschmerzen, im ganzen Körper verspürte ich grosse Mattigkeit, und beide Hände brannten mir sehr. Als ich mir die Hände ansah, bemerkte ich in der linken Hohlhand und an dem Rande derselben „Blattern", die hellergross und recht hart waren, ebenso auch in der rechten Hohlhand.

Meine Arme waren sehr stark gerötet. Da ich mich sehr unwohl fühlte, schickte ich zum Arzte. Sehr bald kam Hr. Dr. Sch. (k. k. Polizeiarzt), der mir zwei Medikamente (Bromnatrium, Tinctura digitalis) und Umschläge für die Hände verschrieb. Auf das Medizinieren habe ich gut geschlafen. Um 6 Uhr früh stand ich auf, ging zu Fuss zum Protokoll in die Remise Erdberg. Schwäche und Zittern verspürte ich in den Knieen. Die Blattern an den Händen und Fingern waren ganz weiss geworden. Nachher ging ich nach Hause, ass sehr wenig und legte mich wieder hin und bin auch sofort eingeschlafen. Sehr schlafsüchtig bin ich seit dem Unfalle geworden; wenn ich auch die ganze Nacht durch geschlafen habe und mich dann bei Tage setze, schlafe ich sofort ein. Montag, d. h. am 3. August, wurde ich zum Polizeikommissariat geholt, wo ein kurzes Protokoll aufgenommen wurde. Seit damals mache ich bis heute (13. August) keinen Dienst, bin immer müde und matt und sehr verschlafen; ich möchte nur immer schlafen. Seit den letzten Tagen habe ich Nasenbluten, an dem ich früher niemals gelitten habe. Das Nasenbluten tritt morgens auf; es kommt nicht viel Blut heraus; etwa 10—15 Tropfen. Auf Spülung mit kaltem Wasser steht die Blutung.

Lesen kann ich jetzt auch nicht lange, weil mir die Augen gleich übergehen. Mein Gedächtnis hat nicht gelitten; doch so oft es am Abend jetzt finster wird, beginne ich mich zu fürchten; wovor, weiss ich nicht. Ich getraue mich nicht, auszugehen. Der Appetit ist sehr herunter, Stuhl und Urin in Ordnung."

Es sind für das Verständnis der von mir mitgeteilten Fälle nun noch einige experimentelle Tatsachen wichtig, die wir Jellinek verdanken. Sie beziehen sich auf das Auftreten von Muskelatrophien und Herz- und Atmungsstörungen unter kurzen, unter einer Sekunde Dauer liegenden Starskstrom-Einwirkungen.*)

---

*) Jellinek macht keine Mitteilungen über Unfälle am Telephon. Er sagt darüber nur (S. 15f.): „Man kann auch zu Hause eventuell beim Telephon darüber in recht unangenehmer Weise belehrt worden, dass Schwachstromanlagen zuweilen durch Starkströme beeinflusst werden können. In Wien wurden zwei ernstere Unfälle am Tele-

1. Kaninchen No. XXIV (l. c. S. 68—69; S. 166—168).

Kopf und Rücken entsprechend der Lumbalanschwellung rasiert und mit Stanniolblättern belegt; 1000 V. Wechselstrom, Einwirkungsdauer Bruchteil einer Sekunde. Das nicht gefesselte Tier fällt in Streckkrampf bewusstlos nieder, erholt sich aber in 1—2 Minuten und schien keinen Schaden davongetragen zu haben. Auch am nächsten Tage nichts Auffallendes. Erst 48 Stunden nach dem Trauma war eine leichte Parese der rechten hinteren Extremität aufgetreten. Sie wurde in leichter Abduktionsstellung und etwas schwerfällig bewegt. — Nach 6 Tagen: Rechtes Hinterbein leicht gestreckt, abduziert und im besonderen die Pfote auswärts gerollt. — Nach 10 Tagen: Das Tier frisst und nimmt sogar an Gewicht zu, die rechte hintere Extremität erscheint in ihrem Volumen etwas schwächer. — Nach 12 Tagen: Parese der hinteren rechten Extremität auffallend deutlich. — Nach 23 Tagen: Die Volumsabnahme der rechten hinteren Extremität ist schon bei einfacher Palpation zu konstatieren. — Nach 33 Tagen: Am rechten Oberschenkel ergibt sich eine Volums-Abnahme um etwa 1 cm gegen links.*)

2. Kaninchen No. XXIII, von demselben Wurf wie XXIV, Wechselstrom von 1000 V.

Das Tier schreit bei Stromschluss auf und gerät in Opisthotonus; nach der Erholung lässt das linke Hinterbein eine leichte Parese erkennen. Eine Stunde später machte diese schon den Eindruck einer Monoplegie. — Nach 3 Tagen: Die Lähmung hat nun beide hintere Extremitäten und auch den ganzen Hinterkörper befallen; das Tier bewegt sich nur äusserst mühsam vorwärts, da der ganze Hinterkörper als Ballast nachgeschleppt wird. Incontinentia alvi et urinae. — Nach 6 Tagen: Die Fortbewegung ist etwas leichter. Sensibilität gestört; keine Entartungsreaktion. — Nach 11 Tagen: Besserung in der rechten hinteren Extremität; fortschreitende Erholung. — Nach 14 Tagen: Die Parese der hinteren Extremitäten geht wieder in eine Paralyse über; das Tier ist zwar munter, kann sich aber nur schwer und unter Kreisbewegungen um die linke

---

graphen und am Telephon beobachtet. In einer Sicherheitswachstube erlitt ein Wachmann einen heftigen Schlag, als er den Taster des Telegraphenapparates berührte.

Der Schlosshauptmann N. im kaiserlichen Lustschlosse Schönbrunn bekam beim Telephonieren einen derart heftigen Schlag, dass er ohnmächtig zusammenstürzte.

*) Die histologische Untersuchung dieses 36 Tage nach der Elektrisierung getöteten Tieres ergab eine frische Degeneration des linken (? Ref.). N. ischiadicus nach Marchi, sonst keine histologische Veränderung an Gehirn, Rückenmark oder anderen peripheren Nerven. Die mikroskopische Untersuchung eines Muskelstücks der paretisch gewesenen Extremität zeigte starke Atrophie der Muskelbündel und teilweise Wucherung des interstitiellen Gewebes (l. c. S. 145).

hintere Extremität fortbewegen. — Nach 15 Tagen: Die Lähmung ist links ausgesprochener. — Nach 21 Tagen: 7 Uhr früh wird das Tier tot aufgefunden; der Tod scheint einige Stunden vorher eingetreten zu sein.

Klinische Diagnose: Paraparese bis Paraplegie beider hinteren Extremitäten, die links immer stärker ausgebildet war; Blasen- und Mastdarmlähmung; Wegfall der Sensibilität, fehlende Sehnen- und Patellar-Reflexe; trophische Störungen der Haut am Hinterkörper.

Pathologisch-anatomische Diagnose: Frische Degeneration der Seitenstränge im oberen Halsmuskel; zerstreute frische Degeneration im Brustmarke, tabesähnliche Degeneration des unteren Lendenmarkes, frische Degeneration beider Nervi ischiadici; Veränderung der Spinalganglien.“ *)

Von den sonstigen wichtigen Innervations-Störungen sagt J. (bezüglich der Unfälle durch Starkstrom): „Am häufigsten und bedrohlichsten sind die Störungen der Herz- und Lungentätigkeit.“ (S. 155.) — Auf Grund seiner Tierversuche (S. 182):

„Prevost und Batelli legen das Hauptgewicht auf die fibrillären Zuckungen der Herzventrikel. Dort, wo sich diese zeigen, nimmt der Unfall einen tödlichen Verlauf. (Sie sprechen von Trémulation fibrillaires des ventricules.)

Bei meinen vielen Tierexperimenten konnte ich mich überzeugen, dass die Art und Weise, unter welcher ein Geschöpf infolge eines elektrischen Insultes stirbt, eine dreifache ist.

1. Es bleibt die Atmung stehen, das Herz schlägt noch eine Zeitlang, oft ganz regelmässig, weiter, um schliesslich zu erlahmen.

2. Die Atmung geht anfangs weiter, während der Herzschlag ganz unfühlbar oder sehr unregelmässig (sog. „Herztreppen“) geworden ist; schliesslich sistiert die Atmung plötzlich im Cheyne-Stokeschen oder ähnlichen Typus, indem zunächst die Bauch-, dann Brust- und endlich die Auxiliarmuskulatur erlahmt. Das Tier atmet „luftleer“.

3. Das Tier stirbt momentan, blitzartig.

Auf Grund meiner Beobachtungen und Studien bin ich zur Annahme gedrängt, die erwähnten gefahrdrohenden Erscheinungen wie „Herzlähmung“, „Respirationsstillstand“ usw. nur für Manifestationen des eintretenden Todes, nicht aber für die eigentliche Todesursache anzuschauen.“

---

*) Ich habe bei meiner neulichen Anwesenheit in Wien leider Jellineks Präparate nicht sehen können, doch hat mir ein so kompetenter Fachmann, wie Herr Professor Obersteiner, gesagt, dass er sie gesehen hat und dass J.s Beschreibung, besonders auch die der sehr eigenartigen Nervenzellen-Veränderungen, nach seiner Durchsicht der Präparate durchaus zutrifft.

S. 71—72: „Die Tötung erfolgte entweder blitzartig oder in den meisten Fällen unter den Erscheinungen einer Atmungslähmung. Diese Form von Erstickungstod tritt entweder derart auf, dass eine dem elektrischen Trauma folgende Dyspnoe sich immer mehr verschlimmert, indem zuerst die Diaphragma-, dann die Thorax- und schliesslich auch die Nasenflügelatmung erlischt, oder aber es tritt nach dem Trauma zunächst ein Stadium der Apnoe auf. Manchmal ist der apnoische Zustand von flachen, immer tiefer werdenden Inspirationen gefolgt, sehr oft aber stellen sich ominöse, schnappende Atemzüge ein. Man könnte sie als „leere Atembewegungen" bezeichnen, weil das Tier Nasenflügel und Thoraxmuskulatur bewegt, ohne Luft zu inspirieren.

Primäre Herzlähmung wurde nie beobachtet, wenngleich es auch Störungen von seiten des Herzens gab. Trotz fortgehender und beschleunigter, resp. verlangsamter Atmung macht sich Arythmie bemerkbar, oder es stellt sich ein fliegender, jagender Puls ein.

Manche Tiere schrieen im Momente des Stromeintrittes auf; andere wieder erst dann, wenn sie aus der Bewusstlosigkeit erwachten."

Schliesslich muss ich noch eine Beobachtung Jellineks besonders hervorheben, weil sie meine Beobachtung vortrefflich illustriert, dass zwei von demselben Strome lädierte, an beiden Enden desselben Drahtes angelegte Personen so sehr verschiedene Krankheitsbilder geben.

J. hat nämlich drei Kaninchen desselben Wurfs zusammen in denselben Wechselstromkreis von 1000 V. Spannung gebracht; zwei davon, die Nummern XXIII und XXIV, haben oben soeben eine ausführliche Schilderung erfahren; bei beiden war die Reaktion völlig verschieden und beim dritten Tier dieser Gruppe war die Reaktion wieder völlig anders, als bei den beiden ersteren. J. sagt darüber (S. 71):

„Recht merkwürdig war das Resultat an drei Kaninchen vom selben Wurfe, die der Wirkung eines Wechselstromes von 1000 Volt Spannung unterworfen wurden.

Eines der Tiere wurde sofort getötet, das zweite wurde bewusstlos, verfiel in Krämpfe, erholte sich jedoch bald vollkommen, und das dritte trug eine Lähmung der linken hinteren Extremität davon, zu der sich in den darauffolgenden Tagen noch eine Lähmung der rechten hinteren Extremität hinzugesellte. Das Tier ging schliesslich zugrunde.

In allen drei Fällen waren dieselben äusseren Bedingungen der Stromeseinwirkung vorhanden, die Tiere stammten vom selben Wurfe, die Widerstandsverhältnisse an den Applikationsstellen glichen sich vollkommen, und trotzdem waren die Resultate so verschiedene. Mit dem-

selben technischen Effekte der angewandten Energie wurde ein sehr verschiedener animalischer Effekt erzielt.

Die verschiedene Wirkungsweise müssen wir auf die besondere Stromverteilung in jedem Organismus, mithin auf individuelle Besonderheiten zurückführen: je grösser ein Stromanteil, von dem lebenswichtige Organe resp. Zentra getroffen werden, umso grösser auch die Gefährdung ihrer Funktionen."

Wir verdanken es nur den ausgedehnten und sorgfältigen Untersuchungen Jellineks, wenn es möglich ist, Fälle, wie die von mir beobachteten, sicherer als auf dem Wege der Analyse der klinischen Tatsachen auf zerstörende Einwirkung des elektrischen Shocks auf das Nervengewebe zurückzuführen. Seine Präparate zeigen, dass da, wo der Strom die nervösen Zentralorgane durchsetzt — und das geschieht auf Grund noch unbekannter Gesetze meist an mehreren Stellen —, das Nervengewebe in tiefen Rissen zerstört wird, zahlreiche Blutgefässe, zumal in der grauen Substanz der Rinde und der spinalen Vorderhörner, ganz besonders häufig aber der medulla oblongata, zerrissen werden, zahlreiche Nervenzellen entweder zerrissen werden oder eine beträchtliche Dislokation ihres Kerns erfahren.

Ich erlaube mir zur deutlichen Feststellung der Tatsachen das Resumé zu zitieren, in welchem der Wiener Autor seine anatomischen Befunde zusammenfasst (S. 148f.):

„Wenn wir die ganze Reihe der beobachteten Alterationen in den menschlichen und tierischen Geweben ins Auge fassen, so müssen wir zu dem Schlusse kommen, dass die Elektrizität nicht nur oberflächlich an den Übergangsstellen, sondern auch in der Tiefe, an den Innenorganen, anatomische Veränderungen hervorzubringen imstande ist.

Die Veränderungen, denen die Innenorgane unterworfen sind, wurden bisher nur an Präparaten des zentralen und peripheren Nervensystems mit Erfolg studiert.

Ihrer Manifestation nach müssen wir sie einteilen:

1. in solche, die wir an überlebenden Individuen gleich nach dem Trauma, eventuell in obductione sehen: es sind die frischen Veränderungen;

2. in solche, die zufolge unserer bisherigen Untersuchungstechnik erst später erkennbar werden, wenn sich nämlich Atrophie, Degeneration und andere Erscheinungen entwickelt haben: es sind dies die Veränderungen älteren Datums.

Zu den bisher beobachteten mikroskopischen Veränderungen gehören:

1. Blutungen,
2. Gefässrupturen,
3. Zellalterationen,
4. Degenerationen,

Wurden bislang die durch elektrischen Kontakt verursachten Lähmungen und andere ähnliche Krankheitserscheinungen als „nervöse“ und „funktionelle“ Störungen aufgefasst, so scheinen unsere histologischen Befunde den Beweis dafür zu erbringen, dass wir es bei den elektrischen Verunglückungen mit Erkrankungen mitunter auf organischer, materieller Grundlage zu tun haben.“

Ich gehe nun an der Hand einiger weiterer eigenen Beobachtungen noch näher auf die Schädigungen am Telephon ein.

Fall IV. Ende September v. Js. konsultierte mich eine aus einer entfernten Provinzialstadt zu Besuch anwesende junge Telephonistin, die im Juli ds. Js. eine Blitzentladung aus der Fernsprechleitung erhalten hatte; sie litt an Tachycardie, Struma — dessen rezente Entstehung sich aus der Halsweite der von ihr im vorigen Winter getragenen Kleider feststellen liess — und hatte im Amte einige Angstanfälle gehabt mit Zittern verbunden, das sich einmal zu einem oscillatorisch-rhythmischen Krampfe unter Benommenheit gesteigert hatte.

Meine sich auf zehn Tage erstreckende Behandlung bestand wesentlich, neben gewissen sedativen Massnahmen, im energischen Versuche einer psychischen Behandlung der Klientin zur Bekämpfung einer bereits angedeuteten hypochondrischen Auffassung ihrer Beschwerden.

In diesem Sinne schrieb ich auch noch an sie nach ihrer Rückkehr ins Amt, erhielt aber von ihr die Nachricht von einem inzwischen eingetretenen neuen, schweren oscillatorischen Krampfanfalle. Ich riet ihr darauf brieflich, sich in die Behandlung einer geeigneten öffentlichen Krankenanstalt zu geben. Darauf erhielt ich am 5. November folgenden Brief:

„Habe Ihren werten Brief erhalten, und um Ihren Rat zu befolgen, ging ich zum Herrn Direktor, zeigte ihm das Schreiben und fragte, was ich zu tun hätte, um die Bewilligung des Urlaubs und der Kosten zu erhalten.

Herr Postdirektor sah nun, da er selbst den Vorgang des Unfalls nicht kennt, in den Akten nach, und sind dieselben so zu meinen Ungunsten ausgestellt, dass ich fast gar keinen Anspruch auf Entschädigung habe.

Bei meiner ersten Untersuchung des Hrn. Dr. N. frug mich derselbe beiläufig, ob ich nicht schon einmal Gelenkrheumatismus gehabt hätte. Ich bejahte dies, da ich tatsächlich vor zehn Jahren einige Tage wegen diesem Leiden bettlägerig war. Dasselbe war aber sehr unbedeutend und hatte ich auch seitdem nie Beschwerden von Rheumatismus. In den Akten ist nun vermerkt worden, dass das damals auftretende Herzklopfen nicht auf den Schlag, sondern auf den Gelenkrheumatismus zurückzuführen sei. Ebenso auch die Nervenschwäche. Dass Herr Dr. N. angegeben hat, die Krankheit könne weit eher von dem Rheumatismus, als von dem Schlage herrühren, wusste ich bis jetzt nicht. Das Attest, welches er mir ausstellte, lautete nur dahin, dass „S. wegen eines erhaltenen Schlages dienstunfähig" ist.

Als ich dann wegen anhaltender Schwäche um Verlängerung des Urlaubs bat, meinte Herr Dr.: „Gelähmt sind Sie nicht, und so kann ich den Urlaub nicht verlängern".

Darauf ging ich einen Tag in Dienst, es war mir aber unmöglich, denselben zu versehen und begab mich wieder zum Arzt. Ich erhielt noch 8 Tage Urlaub. Als ich dann über fortwährende Herzbeklemmungen zu klagen hatte, ging ich nach mehreren Wochen wieder zum Arzt, und in der Untersuchung meinte derselbe, die Beklemmungen kämen vom Herzen, verschrieb mir eine Medizin, welche mir aber meinen Zustand nicht erleichterte.

In den Attesten war vom Rheumatismus nichts erwähnt und in den Akten ist alles auf denselben zurückgeführt.

Damals gab mir Herr Direktor zu verstehen, dass wohl auch Verstellung zugrunde liege, mein Aussehen deutet auf kein Kranksein und ich sollte mich doch 'mal im Spiegel betrachten. Ausserdem hätte ihm der Arzt versprochen, dass ich ganz bestimmt binnen acht Tagen vollständig hergestellt bin. Mein jetziger Chef hat mir nun abgeraten, jetzt eine Kur zu gebrauchen, da es sehr nachteilig für mich sein würde; da in den Akten nicht ganz genau festgestellt ist, dass die Krankheit von dem Schlage herrührt, könnte mich die Post, da ich an hysterischen Anfällen leide, ohne dass ich Anspruch auf eine Rente hätte, binnen vier Wochen entlassen.

Herr Postdirektor hat mir einen leichteren Dienst angesetzt und meinte, ich solle den Winter, ohne Urlaub nehmen zu brauchen, versuchen, den Dienst zu tuen und lieber im Sommer einen mehrwöchentlichen Kururlaub beantragen.

Es ist mir nun leider nach dem Gehörten unmöglich, Herr Doktor, Ihren wohlgemeinten Rat zu befolgen, da meine Stellung auf dem Spiele steht.

Sehr traurig ist es allerdings, im Dienst habe ich mir die Krankheit zugezogen, Heilung kann ich nicht beantragen, sondern muss noch gewärtig sein, wegen der Krankheit entlassen zu werden

Auch das Annahmeattest, welches vollständige Gesundheit bestätigt, und ich auch keinen Tag während meiner Dienstzeit krank gewesen bin, nützt mir wenig.

Es bleibt mir vorderhand nichts übrig, als vorläufig auf eine Kur zu verzichten, obgleich mir dieselbe sehr gut getan hätte. Die Atembeschwerden haben ganz nachgelassen, aber sonst bin ich sehr nervös, und habe ich fast ununterbrochen Kopf- und Genickschmerzen.

Verzeihen Sie, Herr Doktor, wenn ich Sie mit meinem langen Schreiben aufhalte, aber das Gehörte hat mich so in Aufregung versetzt, dass ich Ihnen hier den ganzen Vorfall ausführlich schildere."

Es ist natürlich, dass der gegen die Kranke in Szene gesetzte Einschüchterungsversuch sie in Aufregung versetzt hat; für die psychische Verarbeitung eines erlittenen Betriebsunfalls schafft ein solches Verfahren natürlich noch ungünstigere Vorbedingungen, als wenn die Kranke etwa in ihrer schon in Entwicklung begriffenen hypochondrischen Verarbeitung ihres Unfalls bestärkt worden wäre.

Bei einer genauen Analyse der Unfallsfolgen, wie sie sicher in den Rahmen dieser Zeitschrift gehört, kann man aber die psychischen Faktoren der Krankheitsentwicklung nicht ausschalten, auch wenn sie unmittelbar nicht in den Mechanismus elektropathologischer Erscheinungen hineingehören.

Die psychischen Faktoren der Krankheitsentwicklung, die gewiss nicht für sich isoliert bleiben, sondern eine grosse Bedeutung haben für die subjektive Verarbeitung der objektiven elektropathologischen Läsion, diese Faktoren werden sich wieder unter zwei sehr verschiedenen Grundbedingungen entwickeln; die eine Bedingung ist gegeben, wenn das Unfalls-Subjekt im Dienste der Telephonverwaltung steht oder in einem Privatdienste dauernd als Telephonist beschäftigt ist, die andere, wenn das Unfalls-Subjekt das Telephon nicht berufsmässig, sondern nur gelegentlich als Verkehrsmittel benutzt.

Im ersteren Falle hängt es natürlich von der Schwere der erlittenen Verletzung und der individuellen Veranlagung ab, welchen Einfluss bei der Wiederaufnahme der Berufstätigkeit seitens des Verletzten die Vorstellung haben wird, dass sich ein gleicher Unfall jederzeit wiederholen kann; dass sich daraus ausgesprochene Phobien und Zwangsvorstellungen entwickeln können, liegt auf der Hand; besonders gross ist die Gefahr der Entwicklung solcher Erscheinungen bei Beamten, die im Fernverkehr

durch Blitzschlag geschädigt worden sind; hier wird sich in der Regel in der Gewitterperiode des Sommers eine mehr oder weniger unruhige und angstvolle Stimmung einstellen, die dann von besonderer Bedeutung werden muss, wenn die objektiven Unfallsfolgen zu Störungen der Herz- und der Gefäss-Innervation geführt haben. Für den zur Begutachtung berufenen Arzt werden sich daraus oft recht schwer zerlegbare Komplexe ergeben.

Aber nicht nur die Individualität des Unfalls-Subjekts ist von grosser Bedeutung für die Unfalls-Wirkung, sondern auch der Einfluss des vorausgehenden berufsmässigen Telephonierens auf den Organismus. Es ist deshalb zu untersuchen, ob das berufsmässige Telephonieren, sei es im Dienste der Telephonverwaltung, sei es in irgend einer anderen, z. B. der kaufmännischen oder der journalistischen Tätigkeit, für sich allein pathologische Zustände herbeiführen kann. Als Umstände, die in dieser Richtung wirken können, kommen in Frage:

1. Der mechanische Einfluss des Druckes eines am Kopfe fixierten Apparats.

2. Die nur mässige, aber häufige mechanische Affektion des Trommelfells, des schallleitenden und des schallempfindenden Apparats durch starke, telephonische Geräusche, z. B. das „in die Ohren läuten".

3. Die mit dem berufsmässigen Telephonieren, besonders im Fernverkehr, verbundene Überanstrengung der Aufmerksamkeit. Dabei kommt nun in Betracht, dass, und zwar besonders beim Sprechen auf langen Strecken, das Telephon die hineingesprochenen Worte keineswegs quantitativ und qualitativ genau reproduziert, sondern dass der Empfangsapparat dem Ohre des die Nachricht Empfangenden, besonders qualitativ, etwas recht stark vom Originale abweichendes zuführt. Denn erstens deformieren die Eigenschwingungen des Diaphragmas, des Luftkastens und anderer Teile des Empfangsapparates nebst ihren Obertönen stark die von der Stimme herstammenden Töne, zweitens führen bestimmte Faktoren zu einer erheblichen Abschwächung der Vokale e, i,[1]) u, der Konsonanten c, s, z, l. Das macht sich besonders geltend bei der Auffassung der Zahlworte, bei denen ja Schwache E- und I-Laute und Zischlaute dominieren — und die Telephonistin hat ja eigentlich nur auf Zahlworte genau zu achten — und macht sich auch sehr fühlbar in einem Gespräch, in dem Fremdworte romanischen Ursprungs häufig sind, da in diesen Worten das e, das i und die Zischlaute viel frequenter sind, als im Deutschen. Man mache einmal den Versuch, wie viel Menschen am Telephon die Worte Cicero und Concupiscenz bestimmt aufzufassen vermögen. Auch m, n, p und w werden vom Telephon nur sehr ungenügend übertragen.

---

[1]) Namentlich des i.

Es ist also festzustellen, dass man das Telephongespräch nicht unmittelbar auffasst, wie eine Unterhaltung, sondern dass man sehr viel bloss erräl. Das berufsmässige Telephonieren stellt also ganz ungeheure Ansprüche an die Kombinationsarbeit und Kombinationsgabe des Hörenden, und es würde ein täglich mehrstündiges Arbeiten am Telephon überhaupt nicht möglich sein, wenn nicht gegenüber den an sich fast unendlichen Kombinationsmöglichkeiten des Gesprächs, denen eine unendlich schnell arbeitende Kombinationsarbeit des Hörenden entsprechen müsste, im Dienste der Telephonistin nur die zwei oder drei, höchstens aber zehn Tausend Zahlworte in Betracht kämen, deren Anwendung ja auch noch dadurch eingeschränkt ist, dass man ja in der Regel nicht verlangt, z. B. mit No. „neuntausend vierhundert und sechsundsiebzig" verbunden zu werden, sondern mit „vierundneunzig sechsundsiebzig", sodass das Kombinationstalent der Telephonistin nur im Gebiete zwischen 1 und 99 zu spielen hat. Es ist klar, dass eine im Fernverkehr arbeitende Telephonistin viel mehr Kombinationsarbeit leisten muss, als die im Lokalverkehr stehende, weil sie eine bestimmte Zahl von Ortsnamen auffassen muss; es ist deshalb nicht leicht, in Schlesien Anschluss an Orte wie Siemianowitz, Swientochlowitz und Komprachtschütz zu erhalten.

Nach diesen Ausführungen ist es nun nicht ganz unwahrscheinlich, dass das berufsmässige Telephonieren allein auf die Dauer zu Gesundheitsschädigungen führen kann.

Ob das nun auch tatsächlich der Fall ist, darüber könnte am sichersten eine Enquete über den Gesundheitszustand des Beamtenpersonals entscheiden; eine solche ist mir auf amtlichem Wege nicht erreichbar; ich bin also auf die Zufälle der eigenen Praxis und auf die Literatur angewiesen.

Ich will zunächst zwei hierher gehörige Fälle aus meiner Praxis mitteilen.

I. Fall V. Fräulein G., 26 Jahre alt, wird von mir am 17. Okt. 1901 auf Wunsch der Mutter besucht. Ich finde Mutismus, starke Herabsetzung der willkürlichen Innervation, ängstliche Physiognomie, Tachycardie, Pallor, der Appetit ist sehr gering, es kommt mehrere Tage lang wiederholt Nahrungsverweigerung vor; sie verbringt den grössten Teil der Nächte im Bette sitzend, scheint Stimmen zu hören, hat Andeutung von Negativismus. Der Stuhl ist angehalten.

Die Anamnese ergibt, dass die Kranke am 1. Oktober 1900 als Telephonistin eingetreten ist und im inneren Stadtverkehr bis vor 6 Wochen tätig war; schon in den ersten Monaten ihrer Tätigkeit wurde die Gegend des linken Ohrs Sitz dumpfer Schmerzen; diese verbanden sich bald mit

Druckempfindungen in der ganzen basalen Partie der linken Schädelhälfte; erst später, nach etwa vier Monaten Dienst, trat schon nach einer Stunde Arbeit ein Gefühl schwerer Ermüdung ein; anstatt der Sprachlaute vernahm die Patientin am Telephon minutenlang oft nur ein undeutliches Murmeln aus dem Empfangsapparate; die Augenlider erschienen ihr schwer; sie musste wiederholt Pausen machen, kämpfte später im Dienst beständig mit Schlaf, schlief dafür in der Nacht nicht; vorübergehende Beurlaubung brachte keine Besserung; es stellte sich nun die Angst ein, den Dienst aufgeben zu müssen und damit eine sich allmählich steigernde schwere Depression mit geringem Appetit, Neigung zum Weinen, grosser Mattigkeit, Menschenscheu. Ein vierwöchentlicher Urlaub im Sommer 1901 brachte zwar eine Besserung der Stimmung; die Wiederaufnahme der Arbeit führte bald zu neuer anhaltender Müdigkeit, zu sich steigernder Angst um die Zukunft, bis sich Ende September ziemlich akut das Bild der melancholischen Depression entwickelte, das ich bei meinem ersten Besuche am 17. Oktober vorfand. Ich will hier auf die Einzelheiten im weiteren Verlaufe der Krankheit nicht eingehen, sondern nur erwähnen, dass darin eine mit der sonstigen Apathie kontrastierende übermässige Erregbarkeit gegen Lärm und Geräusche deutlich hervortrat, die sich in Stöhnen, in der Physiognomie und im Verhalten des Pulses ausprägte; besonders, wenn die Pfleglinge eines im Parterre des Hauses bestehenden Kindergartens in den Hof, nach dem die Fenster des Krankenzimmers gingen, stürmten, wurde die Patientin ziemlich agitiert. Es gelang, sie zu Haus zu behandeln; die Sorge für möglichste akustische Isolierung der Kranken hatte einen sehr wohltätigen Einfluss; im März bestand nur noch eine leichte Depression und gelegentliche Anfälle von Tachycardie: ich schickte die Kranke im April aufs Land, behandelte sie im Mai und Juni der Tachycardie wegen noch mit vibrierender Massage der Herzgegend und entliess sie im Juli völlig geheilt, blühend und in dauernd froher Stimmung aus der Behandlung; sie ist nicht wieder ins Amt zurückgekehrt, hat sich dauernd in der Häuslichkeit beschäftigt und ist, wie ich im Winter 1904 wiederholt konstatieren konnte, bisher gesund geblieben.

Typisch ist diese Krankengeschichte sicher nicht; es ist vielmehr zu beachten, dass der Vater der jungen Dame an einer Opticus-Atrophie leidet, dass der Bruder der Mutter ein sehr cholerischer Mann ist; eine Tochter dieses Mutterbruders der Patientin habe ich gegenwärtig wegen schwerer Hysterie in Behandlung; bei dieser Cousine der Patientin ist eine enorme Schreckhaftigkeit bei den geringfügigsten Geräuschen auffällig; eine blutsverwandte Cousine im zweiten Grade habe ich vor zwei

Jahren an hysterischer Coxalgie behandelt; drei blutsverwandte Vettern der früheren Telephonistin leiden an Schulneurasthenie, der eine unter permanentem schwerem Kopfschmerze.

Diese anscheinend nur unter dem Einflusse des berufsmässigen Telephonierens erkrankte Patientin ist also zweifellos Spross eines neuropathisch erheblich belasteten Stammes; diese Tatsache berechtigt uns aber nicht, die ätiologische Bedeutung des berufsmässigen Telephonierens zu bestreiten.

II. (Fall VI): Der 52jährige unverheiratete Kaufmann F. konsultiert mich am 12. Dezember 1904 wegen eines Tic convulsif der linken Gesichtshälfte; zugleich klagt er über Wiederauftreten von Zwangsvorstellungen, die ihn antreiben, die alltäglichen Bewegungen zu wiederholen, wobei es ihm manchmal ist, als riefe eine Stimme ihm zu: thue es noch einmal; auch sexuelle Vorstellungen drängen sich in peinlicher Weise während der Arbeit auf. Der Tic besteht erst seit 14 Tagen, zugleich sind die früher wiederholt, wenn auch nie gleich intensiv auftretenden Zwangsvorstellungen mit grösster Heftigkeit aufgetreten.

F. hat bis zum Herbst v. J. viele Jahre als Korrespondent bei einem inzwischen in Liquidation getretenen Bankhause gearbeitet; stellenlos geworden, hat er zunächst bei einer grossen Zeitung am 1. Oktober die Arbeit übernommen, die aus Berlin täglich während mehrerer Stunden anlangenden Telephonnachrichten, besonders die ausführlichen Parlamentsberichte, aufzunehmen und sogleich stenographisch zu registrieren.

Der nicht unbemittelte Patient hat auf meinen Rat diese Stellung aufgegeben und sich zu einem auswärtigen, durch Erfolge als Hypnotiseur bekannten Spezialisten begeben. Ich habe ihn nur zweimal gesehen und bin bisher ohne weitere Nachricht über sein Befinden geblieben. Man muss in diesem Falle wohl eine übermässige Inanspruchnahme der Aufmerksamkeit und der Kombinationsgabe als Ursache sowohl des Recidivierens der Zwangsvorstellungen als auch des Neu-Auftretens eines tic convulsif im Gebiete desjenigen N. facialis ansehen, der zunächst in reflektorischer Beziehung zu den primären Zentren des beruflich überbeanspruchten N. acusticus — des linken — steht; denn F. trug während des telephonischen Hörens den Empfangsapparat am linken Ohr.

Diese beiden Fälle berechtigen mich also nicht, zu behaupten, dass berufsmässiges Telephonieren krank macht, sondern nur anzunehmen, dass neuropathische Individuen durch diese Tätigkeit in ihrem Nervenleben stark gefährdet werden.

Wenden wir uns nun zu der mir zugänglich gewordenen Literatur; diese ist vorwiegend, wenn nicht ausschliesslich, otologische Literatur.

1. C. Blake (*Über den Einfluss des Telephongebrauches auf das Hörvermögen*, Zeitschr. f. Ohrenheilkunde, XX, S. 83) geht in einem Vortrage vor der *American Otological Society* (1888) davon aus, dass die Intensität des Schalls, den der Empfänger hört, auch bei kurzem Drahtwege etwa $^1/_{1000}$ der Intensität des Schalls besitzt, mit dem ins Mikrophon hineingesprochen wird. Die dadurch bedingte Anstrengung „des Ohrs" ermüdet schnell; schon nach $^1/_2$ Minute nimmt das Hörvermögen ab; ein ermüdetes Ohr ist aber sehr emfindlich gegen schrille Töne, wie sie am Telephon anhaltend gehört werden. B. behauptet deshalb, dass das gewohnheitsmässige Telephonieren für Personen mit schon vermindertem Hörvermögen nachteilig ist.

2. Gellé (*Effets nuisibles de l'audition par le téléphone,* Ann. des maladies de l'oreille, 1899, No. 12) sah bei häufig das Telephon benutzenden Personen zuweilen Störungen des Gehörorgans auftreten, die auch sonst bei kontinuierlicher Einwirkung starker Geräusche auftreten. Z. T. sind es entzündliche Veränderungen am schallleitenden Apparat, z. T. des schallempfindlichen Apparats und, von diesem fortgeleitet, Reizzustände des ganzen Nervensystems. Als solche nennt G.: Hyperaesthesia acustica, subjektive Geräusche, Schwindelerscheinungen, allgemeine Aufregung; wahrscheinlich kommt es nach ihm dazu nur bei einer Prädisposition entweder durch schon vorhandene Ohrleiden, oder durch eine grössere nervöse Erregbarkeit.

3. Lannois (*Das Telephon und die Ohrerkrankung*, Arch. f. Ohrenheilkunde, XXIX, No. 10) kommt auf Grund von Untersuchung der Telephonistinnen im Zentralbureau in Lyon und der Fälle Gellés zu dem Schlusse, „dass der häufige Gebrauch des Telephons für ein normales Ohr gefahrlos ist, dass er aber für ein bereits erkranktes Ohr schädliche Wirkungen hat". Jedenfalls gehen die erwähnten Störungen zurück, wenn eine fernere Benutzung des Telephons vermieden wird. L. führt mehrere Fälle an, wo Gehörshalluzinationen aufgetreten waren. *)

4. Treitel (*Archiv f. Ohrenheilkunde*, XXXII, S. 215) teilt einen Fall von Diplacusis binauralis bei einem nervösen Kanzleibeamten mit, der nach vielem Telephonieren auftrat; Stimmgabeln wurden nicht doppelt gehört. Er sagt: „Es ist wahrscheinlich, dass beim Telephonieren infolge des öfteren Vorkommens von Ober- und Klirrtönen das Ohr schneller für diese als für die tieferen Töne ermüdet".

7. Politzer (*Lehrbuch der Ohrenkrankheiten*, 4. Aufl., S. 648) betont, dass nicht nur bereits ohrenleidende Personen durch häufiges

*) In meinen oben mitgeteilten Fällen ist das auch der Fall.

Telephonieren geschädigt werden, sondern dass sich die Erkrankung auch bei früher normal hörenden Personen unter dem Einfluss der steigenden Verbreitung des Telephons immer häufiger zeigt. Ätiologisch betont er den Einfluss der hohen Töne, das plötzliche Knattern des Diaphragmas und die Anstrengung der Aufmerksamkeit.

8 und 9. Von besonderem Interesse sind hier zwei neuere Arbeiten, die sich mit den Berufskrankheiten des Ohrs beschäftigen. (Kahn, Bd. II der *Klin. Vortr. a. d. Geb. der Otologie usw.*, herausgeg. v. Haug.-Röpke, *Die Berufskrankheiten des Ohres*, Verlag von J. F. Bergmann. 1902.)

Kahn ist der Ansicht, dass bei den guten neueren Apparaten der Einfluss der Klirrtöne weniger ins Gewicht fällt, dass aber die intensive, dauernde Anspannung ätiologisch in Frage kommt und dass bei Individuen mit gesundem Ohr bald eine Anpassung an die Arbeitsbedingungen eintritt. Röpke untersuchte 8 Telephonistinnen, die den Hörer permanent am Ohr trugen: sie klagen seitdem darüber, dass sie im Winter abends auf dem Heimwege Schmerzen in der Ohrmuschel, im Gehörgang und auch in der Tiefe des betr. Ohrs hätten. Nur eine dieser Personen klagte über Ohrensausen.

10. Braunstein (*Archiv f. Ohrenheilkunde*, LIX, S. 240) hat eine sehr beachtenswerte Arbeit im Jahre 1893 veröffentlicht, die auch die einschlägige Literatur sehr eingehend heranzieht. Er hat 160 Beamte der Münchener Fernsprechämter otologisch genau untersucht; darunter waren 157 Telephonistinnen. Nur zwei dieser hatten im Fernverkehr Blitzentladungen erhalten; die eine hat sich davon erholt, die andere ist nervös, hat unregelmässige Menses und Otalgie.

Die Befunde werden von B. tabellarisch zusammengestellt; die Prüfungen erstrecken sich auf den otoskopischen und rhinoskopischen Befund, die üblichen Hörprüfungen und die Feststellung subjektiver Beschwerden.

B. bestreitet auf Grund seiner Ermittelungen, dass berufsmässiges Telephonieren einen schädigenden Einfluss auf bereits erkrankte Gehörorgane ausübe; er stützt sich bei dieser Behauptung auf 14 von seinen 160 Fällen, gibt aber zu, dass diese Zahl zu klein ist, um die von ihm negierte Frage zu entscheiden; auch sagt er (S. 310), mehrere der Untersuchten hätten vor der Untersuchung an Ohrensausen, Schwerhörigkeit usw. gelitten, bei der Untersuchung liess sich aber keine Herabsetzung der Hörschärfe feststellen.

Nur in zwei Fällen wurde über Nervosität geklagt, davon war einer durch Blitzentladung geschädigt gewesen. B. bestreitet darnach auch,

dass „die intensive und dauernde Anspannung des Gehörsinns Störungen und Schädigungen der Funktionsfähigkeit des Gehörgangs hervorrufe“.

Aus der Tabelle B.s. ergibt sich noch, dass im ganzen in 23 Fällen über Stechen und Schmerzen im Ohr, über Kopfschmerzen und Ohrensausen geklagt wurde; bei 44 Telephonistinnen verursachte „das langdauernde Tragen des Hörers angeblich Druckschmerzen in der Ohrmuschel“.

B. legt nun in seinen Ausführungen zu wenig Wert darauf, dass von den 270 Münchener Fernsprechbeamten sich nur 160 bei ihm zur Untersuchung — die dem Personal nicht befohlen war — eingefunden haben. Ich will die psychologischen Momente hier nicht anführen, die es sehr wohl denkbar erscheinen lassen, dass gerade eine Anzahl nervös geschädigter Beamten, vielleicht gerade solche, aus deren Leiden sich Differenzen mit der vorgesetzten Behörde ergeben hatten, davon Abstand nahmen, Objekte einer von der Behörde protegierten Enquete zu werden.

Mir scheinen also die Schlüsse B.s auf die Seltenheit des Vorkommens einer Schädigung des Gehörorgans durch berufsmässiges Telephonieren nicht zwingend zu sein.

Es liegt aber noch ein anderer Umstand vor, der zu einer ganz besonders scharfen Kritik der Angaben Braunsteins zwingt.

Jede historische Quellenkritik wird sich nicht nur mit der Beobachtungsgabe eines Berichterstatters befassen, sondern auch mit seinem Charakter; das darf auch bei Berichten über Tatsachen der klinischen Beobachtung nicht versäumt werden, wenn in dieser Richtung ein Defekt zu vermuten ist; nun wird man solche Gesichtspunkte nicht nennen, wenn nicht besonders eklatante Umstände vorliegen: man wird sie bei geringerem Bedenken als reservatio mentalis nur für die Bildung des eigenen Urteils, nicht aber für die öffentliche Kritik verwenden.

Nun liegen aber Braunstein gegenüber Umstände vor, die seine Wahrhaftigkeit und Unparteilichkeit anzuzweifeln zwingen. Man bedenke wohl, dass es sich um eine halbamtliche Enquete handelt und dass ein skrupelloser, unwahrhaftiger Mann leicht auf den Gedanken kommen kann, dass es einer Zentralbehörde vielleicht recht lieb sein könnte, wenn er „wissenschaftliches“ Material herbeibringt, welches den Behörden ihre Stellung gegenüber unbequemen Beamten erleichtert. Ich würde die Vermutung eines solchen Motivs nicht zu äussern wagen, wenn nicht besonders gravierende Umstände vorlägen. Im Falle Braunstein aber muss ich mich daran erinnern, dass ich Kriminalpsychologe bin und dass Giftmischer sich durch universelle, wahrhaft dämonische Verlogenheit auszuzeichnen pflegen. Sie sind die Virtuosen der Unwahrhaftigkeit

Auf Dr. Braunstein aber lastet der wohlbegründete Verdacht, seine Frau auf der Hochzeitsreise vergiftet und ihre Leiche im Krematorium verbrannt zu haben, um ihr Vermögen an sich zu bringen. Er ist zwar vom Münchener Landgericht nicht verurteilt, aber die Verdachtmomente sind so gravierend, die ganze Persönlichkeit und ihr Vorleben tragen so sehr den Stempel der Unwahrhaftigkeit, Unzuverlässigkeit und Verlogenheit, dass auch seine literarischen Arbeiten kein Vertrauen verdienen können.

Jedenfalls sind mancherlei Widersprüche in seinen Angaben und mahnt der Umstand, dass er nur 160 von 270 Beamten unterucht hat, doch zu einer behutsamen und kritischen Benutzung seines Materials; wird seine Schuld erwiesen, so wird es am besten sein, über seine Arbeit zu weiteren einwandfreien Untersuchungen überzugehen; es ist jedenfalls auffallend, dass die Arbeit des Ingenieurs Steidle, der in München — wo B. untersuchte — amtlich tätig ist, von sehr häufigen nervösen Begleiterscheinungen der telephonisch erworbenen Ohrenleiden spricht.

11. Der eben genannte Autor, Assessor bei der Königl. Bayerischen Telegraphenverwaltung, schildert in der „Elektrotechnischen Zeitschrift“ (1903, No. 44, vom 3. November) einen Apparat zum Schutz der Telephonleitung gegen Eindringen hoher elektrischer Spannungen.

Er erwähnt dabei kurz seine Erfahrungen über elektrische Schädigungen am Telephon, und unterscheidet die relativ leicht zu vermeidenden unmittelbaren elektrischen Einwirkungen auf das Nervensystem des Betroffenen.

Daneben bleibt aber, wie St. etwas ausführlicher darlegt, noch die Möglichkeit der mittelbaren elektrischen Einwirkungen auf das Personal übrig, welche sich als Gehöraffektionen äussern und durch starke Momentanerregungen der Telephonmembran infolge atmosphärischer „Ladungsgleiche“ verursacht werden.

Bei diesen Einwirkungen auf das Gehörorgan, welche nur selten Trommelfellrupturen oder andere anatomische Läsionen des Ohrs zur Folge haben, spielen sehr häufig nervöse Begleiterscheinungen die Hauptrolle; bei der Rolle, welche für diese nervösen Erscheinungen die individuelle Disposition spielt, ergibt sich bei quantitativ gleicher Ursache doch ein qualitativ sehr mannigfaltiges Symptomenbild; gerade für die ärztliche Beurteilung dieser Begleiterscheinungen ist die subjektive Darstellung des Zustandes für den Arzt oft allein massgebend. Prüft man experimentell die bei verschiedenen Spannungen vom Telephon durch momentanen Stromschluss auf das Ohr herbeigeführten Einwirkungen, besonders die auf ein durch anhaltendes Telephonieren schon in Anspruch ge-

nommenes Hörorgan, so zeigt es sich, dass diese Einwirkungen schon bei 20 V. Spannung schmerzlich werden können und im Wiederholungsfalle zu Kongestionen gegen den Kopf führen können.

12. Tommasi in Lucca (*Le lesioni professionali e traumatische nell Orecchio, Atti del VII Congresso della Soc. Italiano di Laringologia, Otologia etc., Neapel, E. Pietrocola, 1904, pp. 17—20)* hat genau, sowohl funktionell wie objektiv, alle neun im Telephon-Amt zu Lucca beschäftigen Telephonistinnen untersucht. Eine derselben leidet an doppelseitiger Otitis catarrhalis chronica und hat bei Gewittern zwei- oder dreimal elektrische Schläge bekommen. Sie hat Symptome eines beginnenden Labyrinth-Leidens. Eine andere hat in 18 Dienstjahren einmal eine Blitzentladung bekommen und hat herabgesetzte Hörschärfe. Von drei weiteren, im Fernverkehr beschäftigten Telephonistinnen hat nur eine ein normales Hörvermögen. Alle Klagen über Schmerzen in der Ohrmuschel und im Inneren des Gehörganges auf der Seite, auf welcher sie den Hörer tragen.

Eine derselben, die seit 7 Jahren im Dienste und von etwas nervösem Temperamente ist, gibt an, „dass, wenn sie beständig und in Eile arbeiten muss, von der anhaltenden Anspannung der Aufmerksamkeit derart erregt wird, dass sie äusserst reizbar ist, besonders gegen Geräusche, und nach der Arbeit mindestens eine volle Stunde vollständige Ruhe und absolute Stille braucht, damit ihr leidender Zustand nachlässt. Ihr häufiger Kopfschmerz verschwindet nach dieser Ruhepause.

Tommasi bemerkt dazu: „Es ist Tatsache, dass die Telephonistinnen, von denen ich spreche, eine Verminderung des Hörvermögens haben, obgleich sie nichts davon wissen, und dass sich bei ihnen Läsionen des mittleren und inneren Ohres finden."

„Sind nun diese Läsionen auf Fortleitung von Affektionen der Nase und des Nasenrachenraums, oder sind sie ausschliesslich auf berufliche Schädigungen zurückzuführen?"

„Ich glaube, dass beide Ursachen gemeinsam zusammenwirken, um diese Veränderungen herbeizuführen; es ist aber durchaus rationell, zu glauben, dass auch durch den Telephondienst für sich allein das zarte Gehörorgan geschädigt werden kann. Denn man kann nicht annehmen, dass Schädigungen auch eines normalen Hörorgans, ausbleiben, wenn es die anstrengende Anspannung zu ertragen hat, welche die Telephonistin notwendigerweise und dauernd leisten muss, wenn ein Amt viele Verbindungen hat; es müssen dabei schädliche Wirkungen auf den zarten Hörapparat und besonders auf den der Anspannung dienenden Apparat, der hier die Hauptrolle spielt, eintreten. Das muss eintreten, weil bei Neurasthenikern, Hysterischen und von Temperament mehr oder weniger

Nervösen notwendigerweise eine Reizung in den Nerven des Hörorgans auftreten muss; dieser Reizzustand dehnt sich dann auf das ganze Nervensystem aus, wofür ich oben einen Fall angeführt. „Ich behaupte also, dass der Gebrauch des Telephons ein normales Hörorgan zwar nicht schwer schädigt, auf die Dauer jedoch dafür gefährlich werden kann.“

13. Eulenburg (*Über Nerven- und Geisteskrankheiten nach elektrischen Unfällen, Berliner klinische Wochenschrift, 1905, No. 2 und 3*) teilt eine Reihe von schweren Schädigungen durch Starkstrom mit.

Ich gebe die auf die Unfälle der Telephonistinnen bezüglichen Auslassungen E.s unverkürzt wieder:

„Einige Worte nun über die gewöhnlichen, zumal in Grossstädten recht häufig vorkommenden Telephonistinnen-Unfälle, die besonders in der gewitterreichen und ereignisarmen Hochsommerperiode in den Spalten unserer Tagespresse eine beliebte, mitunter auch sensationell aufgeputzte Rubrik bilden. Schon der Umstand, dass diese Dinge sich fast ausschliesslich bei den weiblichen Beamten des Fernsprech-Betriebes und dass sie sich vorzugsweise in den Fernsprechämtern der Grossstädte abspielen, lässt auf eine, grösstenteils ausserhalb des engeren und eigentlichen Gebietes der „Elektropathologie“ liegende Erklärung dieser „Unfälle“ schliessen; und es findet sich diese Vermutung denn auch bei anwachsender Erfahrung bestätigt. Ich habe eine ganze Anzahl der betreffenden Telephonistinnen selbst längere Zeit beobachten können und überdies einigen derartigen Unfällen, von denen im Laufe dieses Sommers in den Zeitungen die Rede war, hinsichtlich ihres Ursprunges nachgeforscht, wobei ich durch das Entgegenkommen der hiesigen Kaiserlichen Ober-Postdirektion in der dankenswertesten Weise unterstützt wurde. Es hat sich dabei das überraschende Ergebnis herausgestellt, dass es sich in der überwiegenden Mehrzahl dieser — auch der in der Tagespresse als hervorragend schwer geschilderten — Fälle gar nicht um wirkliche „elektrische Unfälle“ in dem oben definierten Sinne des Wortes — am wenigsten aber um ein Eindringen von Starkströmen in den Körper und dadurch bedingte Schädigungen handelt. Vielmehr kommen diese „Unfälle“ vorzugsweise bei jüngeren, anämischen und nervös disponierten Beamtinnen in der Weise zustande, dass diese bei Benutzung des Kopffernhörers plötzlichen intensiven Schallwirkungen ausgesetzt werden, wie es namentlich in Form der durch ferne Gewitter erzeugten knallartigen Erschütterungen sich nicht ganz selten ereignet. Ein solcher Fall, der dem letztjährigen (ungewöhnlich gewitterarmen) Sommer angehörte und ein ziemlich gewaltiges Echo in einem Teile der Berliner Lokalpresse erweckte, hat sich am 1. August 1904 in einem hiesigen Fernsprechamt

abgespielt und drei der dortigen Beamtinnen in Mitleidenschaft gezogen. Nach den Zeitungsberichten, die darüber verlauteten, musste man zu der Annahme gelangen, dass wenigstens die eine dieser „unfallverletzten“ Beamtinnen eine schwere und bleibende einseitige Lähmung mit Sprachverlust davongetragen habe, so dass also an eine apoplektische Hemiplegie, wie sie ja durch Blitzschlag direkt unzweifelhaft erzeugt werden kann — ich selbst habe einen der ersten Fälle [1]) dieser Art bereits vor 29 Jahren veröffentlicht — zu denken gewesen wäre. Bei genauerer Nachforschung stellte sich jedoch heraus, dass die Beamtinnen lediglich durch den im Fernhörer vernommenen scharfen und heftigen Knall mehr oder minder schwer affiziert und zunächst vorübergehend wie betäubt waren, worüber alle drei ganz übereinstimmende, offenbar zuverlässige Bekundungen machten; der weitere Verlauf gestaltete sich dagegen nach besonderen Umständen, und wohl auch nach dem Grade der bestehenden nervösen Disposition, bei den einzelnen ziemlich verschieden. Die erste, die den Fernhörer sofort hingeworfen hatte, konnte nach etwa fünf Minuten mit Hilfe einer Kollegin den Platz verlassen, behielt aber heftige Schmerzen in der linken Schulter und im Oberarm zurück, während der untere Teil des Armes fast gefühllos war; zeitweise war auch Zittern im linken Arm und in der ganzen linken Seite bemerkbar. Nach zwei Stunden konnte sie nach Hause fahren, musste aber dort sechs Tage hintereinander das Bett hüten, weil ihr bei jedem Gehversuche schwindlig wurde; erst später war sie imstande, die ihr von ärztlicher Seite verordneten Ausgänge zu absolvieren, hatte aber noch häufig unter Schmerzen in der linken Schulter, sowie unter Kopfschmerzen zu leiden. — Die zweite Patientin, die nach den heftigen Aufschlägen der Membran des Kopffernhörers auf die Polschuhe des Elektromagneten zunächst ebenfalls wie gelähmt dasass und nicht sprechen konnte, befand sich auch nach Verlauf zweier Monate noch in einem so angegriffenen Zustande, dass sie höchstens eine Strecke von ungefähr 200 Schritten mit Unterstützung zurücklegte. Die dritte dagegen, bei der überwiegend Imitation und psychische Induktion im Spiele gewesen zu sein scheint, war überhaupt nur einen Tag dienstunfähig gewesen. — Man erkennt klar, dass es sich in allen diesen Fällen wesentlich um emotionelle, auf psychischem Wege zustande kommende Vorgänge, in der Art der ehedem als Eigenform viel besprochenen „Emotionsneureusen“ oder „Schreckneurosen“ handelte; die scheinbare Lokalisation der zurückbleibenden sensorischen und motorischen Störungen im ersten Falle ist wohl auf die Führung des Kopffernhörers mit der

[1]) Ein Fall von Hemiplegie durch Blitzschlag. Berliner klinische Wochenschrift, 1875, No. 17.

linken Hand, und dessen rasche Fortschleuderung zu beziehen, wodurch umschriebene Orts- und Muskelgefühle ausgelöst und die damit assoziierten Vorstellungsgruppen autosuggestiv in erweitertem Umfange pathogen angedeutet wurden. Bei wirklichem Eindringen von Starkstrom wird der Verletzte infolge der Unfähigkeit zum Loslassen des Fernhörers diesen gezwungenermassen stärker anpressen, und eben dadurch die Dauer der Einwirkung erhöhen, nicht aber sie, wie es hier geschah, durch sofortiges Fallenlassen des Fernhörers augenblicklich beenden.[1])

„In diesen und ähnlichen, ein öffentliches Aufsehen erregenden Fällen handelte es sich also — das sei nochmals wiederholt — nicht um „elektrische Unfälle“, in dem allein diese Bezeichnung rechtfertigenden Sinne, sondern um üble Zufälle, die bei Gelegenheit des dienstlichen Telephonbetriebs und allerdings auch in ursächlicher Verknüpfung mit diesem eintraten — die also — nach der forensischen Seite hin gewiss als „Betriebsunfälle“ zu bewerten sind, nur eben nicht als elektrische Betriebsunfälle. Die Folgen waren und sind denn auch im wesentlichen die den lokalisierten und allgemeinen Formen der Unfallneurosen, der post-traumatischen Neurasthenie und Hysterie überhaupt entsprechenden — ohne besondere, dem Elektrizitätsübergange als solchem Schuld zu gebende Phänomene.

„Indessen ist damit natürlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass auch im Telephonbetrieb unter Umständen richtige „elektrische Unfälle“ mit Stromübergang auf den Körper und mit mehr oder minder schweren konsekutiven Nerven- oder Geistesstörungen vorkommen können. Es wird dies aber nur ganz ausnahmsweise geschehen, und zwar wesentlich nur bei Ausserachtlassung der mannigfachen auf diesem Gebiete üblichen Vorsichtsmassregeln, die speziell auch gerade in Sicherungen verschiedener Art gegen das Eindringen von Starkströmen in den Telephonkreis bestehen.“

Er teilt ferner einen Fall mit, wo nach Blitzschlag eine funktionelle Unfall-Neurose zurückblieb, ferner einen in No. 10, 1904, der amtlichen Nachrichten des Reichsversicherungsamts auf Grund eines Gutachtens E.s ausführlich mitgeteilten Fall von progressiver Paralyse, die sich rapide entwickelte, nachdem der Verletzte in der Telephonzelle durch Leitungsübergang Wechselstrom von 5000 V. erhalten hatte.

Die Fanatiker der Lues-Ätiologie der Paralyse werden diesen Kausalnexus natürlich anzweifeln; für eine unvoreingenommene Beurteilung

[1]) Auch in anderen Fällen, die Telephonistinnen betrafen, habe ich unter den längere Zeit zurückbleibenden Symptomen Schmerz und Schwäche im linken Arm — oder in der ganzen linken Seite — besonders häufig beobachtet.

aber ist dieser Nexus im Falle E.s handgreiflich und hier geht es gewiss nicht an, die Entstehung einer schweren Allgemeinerkrankung des Nervensystems nach dem Telephonunfalle auf Autosuggestion oder gar auf die Rentensucht der Arbeiterschaft zurückzuführen.

E. führt auch noch einen Fall rapider, nicht paralytiformer Verblödung an, die sich entwickelt hat, nachdem der Verunglückte beim Betreten der Geleise einer Strassenbahn von dem gerade zerreissenden Oberdraht derselben am Kopf getroffen worden war.

Es geht doch nun nicht an, zwar bei denjenigen elektrischen Unfällen, die zum Tode oder zum Blödsinn führen, den Elektrizitätsübergang als Ursache gelten zu lassen, bei leichteren Erkrankungen nach elektrischen Unfällen aber alles oder fast alles auf Schreck- oder sonstige „emotionelle" Wirkung zurückzuführen.

Ich kann mich deshalb nicht durchweg mit den Ausführungen E.s über die die Klasse der Telephonistinnen treffenden Betriebsunfälle einverstanden erklären. Man kann nicht, wenn ein nicht tödlicher Unfall ein Mädchen trifft, von vornherein eine rein psychogene Entstehung des Leidens annehmen, allein deshalb, weil es sich um eine weibliche Person handelt; wenn Autoritäten wie Eulenburg sich in diesem Sinne äussern, so darf man sich nicht wundern, wenn die Vertrauensärzte der Telegraphenverwaltung mit verunglückten Telephonistinnen so verfahren, wie es der Seite 29 ff. mitgeteilte Brief einer meiner Klientinnen schildert.

14 und 15. Kleber (*Wie bekämpfen wir die uns durch die Elektrizität bedrohenden Gefahren und Gesundheitsstörungen, Berlin 1905* [*Selbstverlag*]) und Hermann Wills (*Ueber nervöse Störungen durch die Elektrizität, Bonner Dissertation 1904)* streifen zwar die elektrischen Unfälle am Telephon, bringen aber keine eigenen Beobachtungen bei; Wills Arbeit ist ohne Kenntnis Jellineks geschrieben.

Wir sehen aber, dass bei vielen Differenzen doch die Autoren in vielen Punkten übereinstimmen. Diese Punkte sind:

1. Berufsmässiges Telephonieren kann, falls es übertrieben wird, eine allgemeine Nervosität mit verschiedenen Symptomen, auch seitens des Gehörorgans, hervorrufen (Tic, Hysterie, Depressionszustände).
2. Stärkere elektrische Erregung des Telephons kann lediglich durch Einwirkung auf das Ohr, neben anatomischen Schädigungen dieses Organs allgemeine Nervosität hervorrufen.
3. Hochspannungs-Entladungen, die in die Telephonleitung gelangen, können schwere organische Läsionen des Nervensystems hervorrufen, wie progressive Paralyse und multiple Sklerose

(**Eulenburg**), **Muskelatrophieen und M. Basedow-ähnliche Zustände** (**Kurella**), **Blutungen und Fissuren** (**Jellinek**)

Ich erkläre mir nun die Vorgänge bei direkter elektrischer Schädigung von Nervenzentren folgendermassen:

Dringt in eine Telephonleitung ein elektrischer Stoss — Blitz, Schliessungs-Induktionsstrom aus einer Starkstrom-Leitung —, so fungiert der menschliche Körper als Dielektrikum eines Kondensators, dessen eine Belegung die Spulen-Drähte des Telephons, dessen andere Belegung die den Körper umgebende Hülle von Wasserdampf bildet, oft einschliesslich mehr oder weniger feuchter Kleider und Stiefel, oder eine sonst zu stande kommende Ableitung zur Erde. Liegt das Telephon dem Ohre an, so muss die Einwirkung auf das Dielektrikum der Situation entsprechend mehr oder weniger scharf abgegrenzt den Pons und die Medulla oblongata nebst dem oberen Cervicalmark durchsetzen: die Nervensubstanz erfährt dadurch einen heftigen Reiz, der eine Hemmung des ganzen von der dielektrischen Verschiebung betroffenen Nervengebietes bedingt, denn von einer gewissen Intensität ab wirkt der elektrische Shock hemmend, nicht reizend auf die Nervensubstanz (Bewusstlosigkeit, Erblassen, Konvulsionen).

Ich verweise bezüglich der hemmenden Wirkung übermässig starker elektrischer Reize auf Wwedenskijs Theorie der Parabiose. (Diese Zeitschrift 1904, Heft 7, p. 228—237.)

Ausserdem kann es und kommt es häufig dazu, dass das Dielektrikum durchschlagen wird, es kommt zu feinen Rissen und Durchbohrungen, meist zu mehreren in zerstreuter Anordnung. Die Gesetze dieser Durchschlagwirkungen im Nervengewebe sind noch durchaus unbekannt.

Anscheinend liefert die graue Substanz die günstigsten Bedingungen für eine solche mutiple feinspaltige Durchbohrung.

Die weitere Entwicklung des Krankheitsbildes ergibt sich nun teils aus den noch wenig bekannten Folgen der erlebten intensiven Hemmung, teils aus den viel besser bekannten Folgen von Hämorrhagien und Kontinuitäts-Trennungen im Nervengewebe; dabei kommen: 1. Erweichungsvorgänge, 2. Narbenbildung, 3. sekundäre Degeneration in Frage.

Es ist deshalb in jedem Falle der Läsion durch einen in die Telephonleitung geratenden Starkstrom eine vorsichtige Prognose dringend indiziert.

Die Therapie ergibt sich aus der Doppelnatur der Läsion, hat aber auch Rücksicht zu nehmen auf einen dritten ätiologischen Faktor, die sehr bald mit hineinspielenden Auto- und Fremd-Suggestionen.

Das angeführte Material wird genügen, um zu zeigen, wie gross die

Gefahren sind, die durch die ungefähr gleichzeitige Ausdehnung und Verdichtung des Netzes der Telephonleitungen und der elektrischen Strassenbahnen entstehen. Gegenüber den selten auftretenden und nach dem heutigen Standpunkte der Technik freilich unabwendbaren Gefährdungen des telephonierenden Publikums und der Beamten der Fernsprech-Ämter durch atmosphärische Entladungen steht die Möglichkeit, durch relativ einfache und billige Vorrichtungen die Luftleitungen der Strassenbahnen vor dem Kontakte mit Telephondrähten zu sichern. Es ist das eine selbstverständliche Forderung der Vertreter des Arbeiterschutz-Gedankens, eine Forderung, die um so dringender ist, als die Telephon-Ämter den direkten Verkehr fast ausschliesslich durch weibliche Angestellte besorgen lassen, die bekanntlich nach kürzerer Dienstzeit in ihrer Majorität schon nervös sind und deshalb schon auf blosse Shock-Wirkungen mit mehr oder weniger schweren Neurosen reagieren.

Glücklicherweise aber handelt es sich nicht nur um eine Frage des Arbeiterschutzes; zwar ist die Telephonistin, die täglich 6—8 Stunden lang den Hörer am Kopfe oder um den Hals trägt, am meisten exponiert, gefährdet ist aber jeder, der telephoniert; und wer telephoniert nicht gelegentlich einmal? man findet in der Grossstadt ja schon Kinder, die kaum sprechen können, am Telephon.

Ich will an dieser Stelle nicht in eine eingehende Besprechung des amtlichen Aktenmaterials eintreten; es existieren eine Reihe mit einander schwer zu vereinigender Verfügungen und Erlasse der höheren Verwaltungsbehörden auf diesem Gebiete, die von grosser Zurückhaltung zeugen, und man hat, wenigstens in Preussen, den Eindruck, als wäre auch die Polizei recht zurückhaltend in prophylaktischen und repressiven Massnahmen.

Die Strassen- und Kleinbahn-Verwaltungen sehen natürlich neue Schutzmassregeln und Anregungen zu ihrer besseren Gestaltung nicht gern, und auf dem Anfang September v. J. in Wien abgehaltenen Kleinbahn-Kongresse trat fast allgemein die Anschauung auf, dass Schutzmassregeln für Abhaltung der Telephon-Drähte von den Strassenbahn-Leitungen mit Sicherheit überhaupt nicht möglich wären. Man kann diese Anschauung vom Standpunkte der Dividende und dem des Verwaltungs-Schlendrians wohl begreifen.

Vergegenwärtigt man sich aber, wie leicht bei Sturm, ganz besonders bei starkem Schneefall dichte Scharen von Telephondrähten reissen, wie diese Draht-Scharen gerade in den verkehrreichsten — d. h. an Strassenbahn-Linien reichsten — Teilen grosser Städte (Wien, Berlin, Hamburg, Breslau) am dichtesten sind, so kann man die Notwendigkeit eines besseren Schutzes als bisher gar nicht verkennen.

Als Vorbeugungsmassregel ist nun zu fordern, dass, wie es ja bei den gegenwärtigen Neuanlagen der Reichstelegraphenverwaltung meist geschieht, Telephonleitungen nicht mehr oberirdisch und blank, sondern in unterirdischen Kabeln geführt werden.

Diese Massregel schützt vor dem Kontakte der Telephondrähte mit Starkstromleitungen; aber die Blitzgefahr ist damit nicht beseitigt; die Drähte müssen ja, um an die Apparate zu gelangen, aus dem unterirdischen Kabel in die verschiedenen Geschosse der einzelnen Häuser geführt werden.

Es bedarf also eines Blitzschutzes an jedem Apparate, wozu sich die auf manchen Ämtern üblichen Kohlenblitzableiter, welche Überspannungen von ca. 400 V. auszugleichen vermögen, durchaus eignen.

Schliesslich bedarf es auch noch eines Schutzes gegen relativ geringe Überspannungen, die induktiv im Apparate selbst entstehen können — z. B. bei zu schnellem und anhaltendem Drehen der Induktor-Kurbel —, und hier ist der von Steidle konstruierte Apparat (Elektrotechn. Zeitschrift 1904, No. 44) bisher der einzige Schutz; dieser schützt zugleich gegen etwaige andere die Telephonleitung treffende Überspannungen von weniger als 400 Volt.

Dieser Schutz wird darin gefunden, dass im Nebenschluss zu dem Mikrophon, das der Beamte an seinem Brustschilde oder am Kopfe trägt, ein Kohärer liegt, der für gewöhnlich einen sehr hohen Widerstand hat, also nichts (praktisch genommen) vom Telephonstrom aufnimmt, der aber einen sehr geringen Widerstand — meist nur einige Zehntel Ohm — erhält, also die Telephonleitung stromlos macht, sobald plötzlich eine erhebliche Spannungsdifferenz im ganzen Systeme eintritt. Diese am Brustschild angebrachte Vorrichtung schützt schon gegen Entladungen (z. B. Condensator-Entladungen) von 20 Volt an, also von der Spannungshöhe an, wo plötzliche Entladungen auf rein akustischem Wege lästig oder schädlich werden können [1]).

Es sei hier auf die übrigens einfachen technischen Einzelheiten dieses geistreich erdachten und absolut ausreichenden Verfahrens nicht weiter eingegangen [2]).

[1]) Die Kohärer-Dämpfung trat auch ein, wenn der zum Signalisieren übliche Weckstrom auf den Hörstromkreis geschaltet wurde, sodass durch Parallelschaltung dieser empfindlichen Spannungssicherung zum Telephon jede störende Beeinflussung des Gehörs durch das bisher oft so unangenehm empfundene „in die Ohren läuten“ ausgeschlossen werden kann.

[2]) Dazu gehört z. B. eine periodische Erschütterung des Kohärers zum Zwecke der Beseitigung seiner eben erworbenen Leitfähigkeit. Auch der Teilnehmer kann eine Sicherung erhalten, indessen bedarf das Personal dieser viel mehr, da ihm der Hörer durch eine feste Stahlspange dauernd ans Ohr gedrückt wird, sodass die im Gehörgang zufällig auftretende Luft-Kompression ein Maximum darstellt, während der Teilnehmer den Hörer sofort vom Ohre abziehen kann.

Ich kann an dieser Stelle — es soll an einer anderen geschehen — nicht in die Prüfung der bestehenden Bestimmungen, in die Erörterung der sich daran knüpfenden Fragen des Rechts, der Verwaltung und des Wirtschaftslebens eintreten.

Ich will vielmehr zum Schlusse auf etwas anderes hinweisen, nämlich auf die rein theoretische Bedeutung der Beobachtung von Tatsachen der Elektropathologie.

Wir können uns, wenn die allgemeinen Fragen der Einwirkung elektrischer Vorgänge auf den unversehrten menschlichen Körper geklärt werden sollen, nicht mehr mit den Versuchen der Physiologen an isolierten Kaltblüter-Nerven begnügen; diese klassischen Versuche haben ihre Zeit gehabt; die praktische Elektrotherapie verdankt ihnen einige wertvolle Anregungen; aber sie verlangt zugleich nach mehr, und der konsequente Versuch Jellineks, eine Elektropathologie zu begründen, weist gebieterisch auf die Notwendigkeit hin, endlich einmal die Elektrophysiologie des Menschen systematisch zu bearbeiten.

Anhang.

1. Bericht des Technischen Ausschusses des Elektrotechnischen Vereins über den Schutz elektrischer Starkstromanlagen gegen atmosphärische Entladungen. April 1904.

Hier heisst es u. a. über die Ergebnisse der mittels Fragebogen erhobenen Enquete:

Postkarten mit abgekürzter Fragestellung sind nicht mehr versandt worden, da sie im ersten Jahre so gut wie gar keine Erfolge gebracht haben. Aus dem Auslande (von Österreich abgesehen) sind leider nur 3 Fragebogen beantwortet zurückgelangt, während aus dem Deutschen Reiche und Österreich 96 eingegangen sind. Das ist erheblich weniger als im vorletzten Jahre, erklärt sich aber daraus, dass diesmal eben nur Berichte aus dem letzten Jahre erstattet wurden, während sich die ersten Berichte vielfach auf 5 bis 6 Jahre zurückerstreckten. Die zurückgelangten Fragebogen sind wiederum in 3 Gruppen eingeteilt worden. Die erste umfasst jene Antworten, die keinerlei Beobachtungen oder Mitteilungen über atmosphärische Entladungen enthalten (36 Stück), die zweite jene, wo entweder ausdrücklich von stattgehabten Gewittern berichtet wird, ohne dass eine Störung eingetreten war, oder wo ein vollständiges, zweckentsprechendes Funktionieren der vorhandenen Blitzschutzvorrichtungen beobachtet wurde (22 Stück), und die dritte Gruppe jene, wo Beschädigungen durch atmosphärische Entladungen stattgefunden haben (41 Stück).

Da sich unter der dritten Gruppe wiederum alle bekannten Systeme von Blitzschutzvorrichtungen befinden, so scheint die bisherige Erfahrung wiederum bestätigt, dass es keine unbedingt sichere Schutzvorrichtung gegen atmosphärische Entladungen gibt. Ein klassisches Beispiel dafür

ist jene Anlage in Nord-Böhmen, die schon im vorigen Bericht hervorgehoben wurde, weil sie offenbar in einer durch atmosphärische Entladungen besonders gefährdeten Gegend liegt. In dieser Anlage sind jetzt Scheiben-Blitzschutzvorrichtungen, Hörner-Blitzschutzvorrichtungen ohne und solche mit Funkenlöschung vorhanden. Überdies hat jeder Mast einen Stangenblitzableiter. Trotzdem sind im vergangenen Jahre wieder 3 Transformatoren durchgeschlagen. Von dem einen, der in der Zentrale steht und die Betriebsspannung von 2000 auf 4000 Volt erhöht, wird berichtet, dass er wiederholt durchgeschlagen ist, trotzdem er aufs beste gesichert ist. Er speist eine Leitung von 10 km Länge, die zum grössten Teil über einen freien Bergrücken geht und an einer quellenreichen Berglehne endet. Das sind also die ungünstigsten Verhältnisse, die überhaupt vorkommen können. Ferner wird aus derselben Anlage berichtet, dass ein Transformator wiederholt in dem letzten Jahre durchgeschlagen ist. Er steht, durch Glasfüsse isoliert, auf feuchter Erde und daher sind seine Blitzschutzvorrichtungen gut geerdet. Ein anderer Transformator, gleichfalls auf Glasfüssen, an derselben Leitung ist verschont geblieben, obgleich er 50 m höher und zwar auf trockenem Sandboden aufgestellt ist, seine Schutzvorrichtung daher keine gute Erdung hat. Da sich diese Beobachtung über mehrere Jahre erstreckt, so scheint ein Zufall wohl ausgeschlossen, und sie ist im Einklang mit der bekannten Wahrnehmung, dass die atmosphärischen Entladungen beim Übergang zur Erde feuchte Stellen im Boden bevorzugen. Das wird ja auch durch die Beobachtung an den durch den Blitz getroffenen Bäumen bestätigt. Von derselben Anlage wird weiter berichtet, dass das Durchschlagen der Transformatoren, die alle auf Glasfüssen stehen, immer zwischen Windungen derselben Wickelung oder zwischen primärer und sekundärer Wickelung, niemals aber gegen den Eisenkörper stattgefunden hat.

. . . .

Wie schon früher, so sind auch jetzt wieder Fälle berichtet worden, wo atmosphärische Entladungen beobachtet wurden, ohne dass ein Gewitter vorhanden war, ferner dass Zerstörungen von Blitzschutzvorrichtungen selbst, sowie von Isolatoren und Leitungsstangen eingetreten sind, wenn sie von direkten Blitzschlägen getroffen wurden.

2. Preussischer Ministerial-Erlass vom 9. Februar 1904.

Der Erlass vom 31. Dezember 1896, betreffend den Schutz der Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegenüber elektrischen Kleinbahnen, gründet sich nach § 4 Ziffer 2 des Kleinbahngesetzes, wonach bei der Genehmigung von Kleinbahnen auch der Schutz bestehender Verhältnisse gegen „schädliche Einwirkungen" der Anlage und des Betriebes der Bahn wahrzunehmen ist. Beschwerdefälle haben Veranlassung gegeben, zu prüfen, inwieweit diese landesgesetzliche Bestimmung in Anwendung auf vorhandene Telegraphen- und Fernsprechanlagen Rechtswirkungen zu äussern vermag gegenüber den §§ 12, 13 und 14 des Gesetzes über das Telegraphenwesen des Deutschen Reiches vom 6. April 1892 (R.-Bl. S. 467) und gegenüber den §§ 6 und 13 des Reichs-Telegraphenwegegesetzes vom 18. Dezember 1899 (R.-Bl. S. 705), durch welche Ansprüche auf Vermeidung „störender Beeinflussung" von Telegraphen- und Fernsprechlinien durch andere elektrische Anlagen zu privatrechtlichen, im Streitfalle vor den Gerichten zu verfolgenden Ansprüchen erklärt worden sind. Als Ergebnis

dieser Prüfung war festzustellen, dass nach der Reichs-Gesetzgebung der behördliche Schutz der in den Telegraphen- und Fernsprechlinien verkörperten öffentlichen Interessen gegen „störende Beeinflussung“ dieser Anlagen durch andere elektrische Anlagen, im Interesse der Reichseinheit und eines für das ganze Reichsgebiet einheitlichen Verfahrens, nicht den Verwaltungsbehörden, sondern den im Reichsgericht gipfelnden ordentlichen Gerichten hat zustehen und dass den Polizeibehörden der Schutz der Telegraphen- und Fernsprechlinien gegen Einwirkungen anderer elektrischer Anlagen nur bezüglich der mit solchen Anlagen für Leben und Eigentum verbundenen Gefahren, kurz die Wahrnehmung der Gefahrenpolizei im engeren Sinne, hat verbleiben sollen. Hiernach ist die Frage, wie elektrische Anlagen „auszuführen“ — d. h. zu konstruieren und anzuordnen sind —, damit sie vorhandene Telegraphen- und Fernsprechlinien nicht „störend beeinflussen“, nicht Gegenstand polizeilicher Fürsorge, sondern der Verständigung der Beteiligten überlassen und im Falle der Nichtverständigung Sache richterlicher Entscheidung. Als „störende Beeinflussungen“ im Sinne der beiden Reichsgesetze sind nach deren Entstehungsgeschichte anzusehen: die Induktionsstörungen, die elektromagnetischen Einwirkungen von Erdströmen bei Benutzung oder Mitbenutzung der Erde zur Stromrückleitung, und örtliche Behinderungen vorhandener durch neue Anlagen bei nötig werdenden Unterhaltungs-, Erweiterungs- und Verlegungsarbeiten.

Angesichts dieser Rechtslage hebe ich, der Minister der öffentlichen Arbeiten, den genannten Erlass meines Herrn Amtsvorgängers hiermit auf.

Auf Grund des § 55 des Kleinbahngesetzes bestimmen wir, dass bei der polizeilichen Genehmigung und Beaufsichtigung des Baues und Betriebes elektrischer Kleinbahnen vor der Bahnanlage vorhanden gewesenen Telegraphen- und Fernsprechanlagen ein polizeilicher Schutz gegen „schädliche Einwirkungen der Anlage und des Betriebes dez Bahn“ fernerhin nur insoweit zu gewährleisten ist, als durch den Bau und den Betrieb der Bahn der Bestand (die Substanz) der Telegraphen- und Fernsprechanlagen und die Sicherheit des Bedienungspersonals gefährdet werden würde. Als gefährlich in diesem Sinne sind anzusehen:

a) die Berührung der beiderseitigen Leitungen,

b) die Wärmewirkungen, die elektrolytischen Wirkungen sowie die Leben und Gesundheit bedrohenden Wirkungen von Erdströmen, die bei Benutzung oder Mitbenutzung der Erde zur Rückleitung entstehen können,

c) die mechanischen Beschädigungen der Telegraphen- oder Fernsprechleitungen bei dem Bau und Betriebe der Bahn.

Soweit nicht besondere Verhältnisse Abweichungen bedingen, sind bei der Genehmigung die aus der Anlage ersichtlichen „Allgemeinen polizeilichen Anforderungen“ zu beachten. Im übrigen bemerken wir folgendes:

1. Im allgemeinen: Der Anhörung der Reichs-Telegraphenverwaltung nach Maßgabe des § 8 Abs. 2 des Kleinbahngesetzes — unter Mitteilung der im § 5 ebendaselbst vorgesehenen Unterlagen — sowie ihrer Beteiligung am Planfeststellungsverfahren und an der Abnahme der Bahn bedarf es nach wie vor. Die Erörterungen mit der Telegraphenverwaltung über den Schutz ihrer Anlage gegenüber der Bahnanlage haben sich aber auf solche „schädlichen Einwirkungen“ der letzteren und ihres Betriebes zu beschränken, die für den

Bestand (die Substanz) der Telegraphen- und Fernsprechanlagen und die Sicherheit des Bedienungspersonals gefährlich werden würden. Ob zwischen der Telegraphenverwaltung und dem Bahnunternehmer schon eine Verständigung über die Vermeidung von „störenden Beeinflussungen" in dem oben umschriebenen Sinne zustande gekommen ist, ist für das polizeiliche Prüfungs- und Genehmigungsverfahren selbst dann nicht von Interesse, wenn die erzielte Vereinbarung auch Schutzvorkehrungen gegen Gefahren für Leben und Eigentum zum Gegenstande haben sollte.

Die Anforderungen, denen die Bahnanlage im Hinblick auf konkurrierende Telegraphen- und Fernsprechanlagen der Polizeibehörde gegenüber zu genügen hat, sind unabhängig von allen zwischen dem Unternehmer und der Telegraphenverwaltung getroffenen oder etwa noch zu treffenden privatrechtlichen Vereinbarungen und ohne jede Bezugnahme auf solche Vereinbarungen festzusetzen.

2. Zu No. 3 der „Allgemeinen polizeilichen Anforderungen": Die aus den Schienen in die Erde übertretenden Ströme können nicht bloss elektrolytisch zerstörend auf ihre Nachbarschaft einwirken, sondern unter Umständen auch eine Leben, Gesundheit und Eigentum bedrohende Stärke annehmen. Diesen Wirkungen vorzubeugen, ist der Zweck der Bestimmung, dass die Rückleitung der Schienen eine möglichst vollkommene sein soll. Die Bestimmung soll aber nicht einen Anspruch auf polizeilichen Schutz auch gegenüber den bloss elektromagnetischen, für Leben und Eigentum nicht gefährlichen Einwirkungen solcher Erdströme auf den Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb begründen.

3. Da induktorische oder sonstige elektromagnetische Beeinflussungen der Telegraphen- und Fernsprechleitungen sowie die Behinderung der Unterhaltung, Erweiterung und Verlegung dieser Anlagen durch die Bahnanlage unter den Begriff der „störenden Beeinflussungen" fallen, so enthalten die „Allgemeinen polizeilichen Anforderungen" weder Bestimmungen über die Verlegung von offenen Telegraphenleitungen und unterirdischen Telegraphenkabeln, noch Grundsätze über die Rechte und Pflichten der beiden Teile im Falle einer „Kollision" der beiderseitigen Rechte (§§ 1024, 1060 und 1090 B. G.-B.). Diese Rechtslage schliesst aber nicht aus, dass bei der Genehmigung einer Kleinbahn an der vorgängigen Verlegung einer Telegraphenlinie auch ein polizeiliches Interesse bestehen kann, z. B. dann, wenn bei Lagerung der Gleise einer Strassenbahn unmittelbar über einem im Strassenkörper schon vorhandenen Telegraphenkabel von einer späteren Ausbesserung, Erweiterung oder Verlegung des Kabels unerwünschte Unzuträglichkeiten für den Bahnbetrieb oder für den Strassenverkehr, oder wenn bei der Nachbarschaft der beiden Anlagen zerstörende elektrolytische Einwirkungen von den aus den Bahnschienen austretenden Strömen auf das Telegraphenkabel zu besorgen sein sollten. In solchen Fällen kann auch seitens der genehmigenden Behörde die Verlegung des Kabels zur polizeilichen Bedingung für die Genehmigung der Bahn gemacht werden. Andererseits hat die Bahnaufsichtsbehörde auch gegenüber den Unterhaltungs- u. s. w. Arbeiten der Telegraphenverwaltung die Sicherheit des Bahnbetriebes und die Interessen des öffentlichen Bahnverkehrs wahrzunehmen. Kommt also bei der Ausbesserung oder Verlegung eines unter der Bahn verlaufenden oder kreuzenden Telegraphenkabels eine Unterbrechung des Bahnbetriebes in Frage, so ist — nötigenfalls durch besondere, an die Telegraphenverwaltung zu erlassende Verfügung — darauf zu halten, dass der Betrieb nicht länger als durchaus geboten unterbrochen werde, und auch nicht zu Zeiten, in denen

die polizeilich zu schützenden Verkehrsinteressen eine Unterbrechung des Bahnbetriebes nicht zulassen. Um der Bahnaufsichtsbehörde den in dieser Beziehung erforderlichen Einfluss zu sichern, ist in der Genehmigung vorzuschreiben, dass längere Betriebseinstellungen der Genehmigung der Bahnaufsichtsbehörde auch dann bedürfen, wenn darüber Einverständnis zwischen der Telegraphenverwaltung und der Bahnbetriebsleitung bestehen sollte, und dass von allen über die fahrplanmässigen Zeiten hinausgehenden Betriebseinstellungen vorgängige, im Falle dringender Notwendigkeit wenigstens nachträgliche unverzügliche Anzeige an die Bahnaufsichtsbehörde zu erstatten ist.

4. Bestimmungen darüber, wer die Kosten polizeilich geforderter Schutzvorrichtungen und Schutzvorkehrungen zu tragen hat, sind in die Genehmigung nicht aufzunehmen.

5. Mit Rücksicht auf § 13 Satz 2 des Kleinbahngesetzes — wonach die Genehmigung unbeschadet aller Rechte Dritter erfolgt — und die §§ 317 und 318 des Strafgesetzbuches (Fassung der Novelle vom 13. Mai 1891, R.-Bl. S. 107) ist es zwar selbstverständlich, dass, wenn zufolge der polizeilichen Genehmigungsbedingungen eine Veränderung von Telegraphen- oder Fernsprechleitungen oder die Anbringung von Schutzvorrichtungen an den Leitungen in Frage kommen (Ziffer 4, 5 und 6 der „Allgemeinen polizeilichen Anforderungen"), der Unternehmer sich über diese Veränderungen mit der Telegraphenverwaltung zu verständigen hat. Es steht aber auch nichts im Wege, einen darauf bezüglichen nachrichtlichen Hinweis in die Genehmigung aufzunehmen.

6. Die ausser den „Allgemeinen polizeilichen Anforderungen" etwa nötig werdenden Sonderbedingungen sind im Planfeststellungsverfahren zu treffen und in solchen Fällen, in denen das Bedürfnis frühestens bei den Probefahrten festgestellt werden kann, vorzubehalten. Sollten die Vertreter der Telegraphenverwaltung im Planfeststellungstermin ausnahmsweise bindende Erklärungen nicht abgeben können, so ist im Termin eine angemessene Frist zu ihrer Nachbringung festzusetzen.

7. Bei Meinungsverschiedenheiten zwischen der genehmigenden Behörde und der Telegraphenverwaltung im Planfeststellungstermin oder im Genehmigungsverfahren über erhebliche sachliche Bedenken oder Einwendungen der Telegraphenverwaltung ist an uns zu berichten, falls der Austrag der Sache nach Ansicht der genehmigenden Behörde nicht dem Beschwerdeverfahren überlassen werden kann.

8. Solange die zur Abwendung von Gefahren für Leben und Eigentum gestellten polizeilichen Anforderungen nicht erfüllt sind, darf die Eröffnung des Bahnbetriebes nicht gestattet werden.

9. Es ist zwar nicht die Aufgabe der Polizeibehörden, für die Regelung der privatrechtlichen Ansprüche zu sorgen, welche die konkurrierenden Anlagen gegeneinander aus § 12 des ersten oder aus § 6 des zweiten der beiden Reichsgesetze herleiten. Im Interesse der Verhütung von Prozessen finden wir aber nichts dagegen zu erinnern, dass die genehmigende Behörde auf Wunsch beider Teile zwischen ihnen über jene Ansprüche vermittelt. Die auf diesem Wege erzielten Vereinbarungen können jedoch nicht die Unterlage für polizeiliche Auflagen abgeben; auch darf das polizeiliche Genehmigungsverfahren im Hinblick auf solche Vermittelungsverhandlungen nicht aufgehalten werden. Es ist im Gegenteil geboten, zunächst die polizeilichen Genehmigungsbedingungen festzustellen, da erst auf Grund dieser öffentlichrechtlichen Unterlagen die Beteiligten ihre privatrechtlichen Ansprüche gegeneinander formulieren können.

10. Es ist selbstverständlich, dass auch bezüglich schon bestehender elektrischer Kleinbahnen die Bahnaufsicht zu Gunsten benachbarter Telegraphen- und Fernsprechleitungen rechtswirksam nur auf dem durch die Reichs-Gesetzgebung für eine polizeiliche Zuständigkeit freigelassenen Gebiete ausgeübt werden kann.

Anlage zur Verfügung vom 9. Februar 1904.

Allgemeine polizeiliche Anforderungen

an den Bau und Betrieb mit Gleichstrom betriebener elektrischer Kleinbahnen im Hinblick auf die mit solchen Anlagen für den Bestand vorhandener Telegraphen- und Fernsprechanlagen und die Sicherheit des Bedienungspersonals verbundenen Gefahren.

1. Falls die Stromzuführung durch eine oberirdische blanke Leitung erfolgt, muss diese, die „Arbeitsleitung", an allen Stellen, wo sie vorhandene oberirdische Telegraphen- oder Fernsprechlinien kreuzt, mit Schutzvorrichtungen versehen sein, durch welche eine Berührung der beiderseitigen Leitungen verhindert oder unschädlich gemacht wird. Solche Vorrichtungen können u. a. bestehen in geerdeten Schutzdrähten oder Fangnetzen, aufgesattelten Holzleisten u. dgl.

2. Wird die Arbeitsleitung (Ziffer 1) noch durch besondere oberirdische blanke Zuleitung gespeist, so müssen die Speiseleitungen da, wo sie von vorhandenen oberirdischen Telegraphen- und Fernsprechleitungen gekreuzt werden, gegen etwaige Berührung durch letztere entweder in ausreichender Erstreckung isoliert oder durch geerdete Fangdrähte oder Fangnetze gedeckt sein. Die Isolation darf auch von einer die normale Betriebsspannung um 1000 Volt übersteigenden Spannung nicht durchschlagen werden.

3. Falls die Stromrückleitung durch die Gleisschienen erfolgt, müssen diese mit dem Kraftwerk durch besondere Leitungen, die Schienenstösse unter sich durch besondere metallische Brücken von ausreichendem Querschnitt in gut leitender Verbindung stehen.

4. An oberirdischen Kreuzungen der beiderseitigen Anlagen muss der Abstand der untersten Telegraphen- oder Fernsprechleitung von den höchstgelegenen stromführenden Teilen der Bahnanlage mindestens 1 m betragen. Die Masten zur Aufhängung der oberirdischen Leitungen müssen von vorhandenen Telegraphen- oder Fernsprechleitungen mindestens 1,25 m entfernt bleiben.

5. Wo die Arbeits- oder Speiseleitungen der Bahn streckenweise in einem Abstand von weniger als 10 m neben den Telegraphen- oder Fernsprechleitungen verlaufen und die örtlichen Verhältnisse eine Berührung der beiderseitigen Leitungen auch beim Umstürzen der Träger oder beim Herabfallen der Drähte nicht ausschliessen, müssen die Gestänge der Bahnanlage, nötigenfalls auch die der Telegraphenanlage, durch kürzere als die sonst üblichen Abstände, durch entsprechend stärkere Stangen und Masten und durch sonstige Verstärkungsmittel (Streben, Anker u. dgl.) gegen Umsturz besonders gesichert sein; auch müssen die Drähte an den Isolatoren so befestigt sein, dass eine Lösung aus ihren Drahtlagern ausgeschlossen ist.

6. Unterirdische Speiseleitungen müssen unterirdischen Telegraphen- oder Fernsprechkabeln tunlichst fernbleiben. Bei Kreuzungen und bei seitlichen Abständen der Kabel von weniger als 0,50 m müssen die Bahnkabel auf der den Telegraphenkabeln zugekehrten Seite mit Zementhalbmuffen von wenigstens 0,06 m Wandstärke versehen und innerhalb dieser in Wärme schlecht leitendes Material (Lehm o. dgl.) eingebettet sein. Diesen Muffen müssen 0,50 m zu beiden Seiten der gekreuzten Telegraphenkabel, bei seitlichen Annäherungen ebensoweit über den Anfangs- und Endpunkt der gefährdeten Strecke hinausragen. Liegt bei Kreuzungen und bei seitlichen Abständen der Kabel von weniger als 0,50 m das Bahnkabel tiefer als das Telegraphenkabel, so muss letzteres zur Sicherung gegen mechanische Angriffe mit zweiteiligen eisernen Rohren bekleidet sein, die über die Kreuzungs- und Näherungsstelle nach jeder Seite hin 1 m hinausragen. Solcher Schutzvorrichtungen bedarf es nicht, wenn die Bahn- oder die Telegraphenkabel sich in gemauerten oder in Zement- oder dgl. Kanälen von wenigstens 0,06 m Wandstärke befinden.

7. Von beabsichtigten Aufgrabungen in Strassen mit unterirdischen Telegraphen- oder Fernsprechkabeln ist der zuständigen Ober-Postdirektion oder den zuständigen Post- oder Telegraphenämtern bei Zeiten vor dem Beginn der Arbeiten schriftlich Nachricht zu geben. Falls durch solche Arbeiten der Telegraphen- oder Fernsprechbetrieb gestört werden könnte, sind die Arbeiten auf Antrag der Telegraphenverwaltung zu Zeiten auszuführen, in denen der Telegraphen- bzw. Fernsprechbetrieb ruht.

8. Fehler — d. h. ein schadhafter Zustand — in der Starkstromanlage der Bahn, durch welche der Bestand der Telegraphen- und Fernsprechanlagen oder die Sicherheit des Bedienungspersonals gefährdet werden könnte, sind ohne Verzug zu beseitigen; ausserdem ist der elektrische Betrieb der Bahn im Wirkungsbereich der Fehler bis zu deren Beseitigung einzustellen.

9. Für den Fall, dass die in diesen Bestimmungen vorgesehenen Schutzvorrichtungen sich nicht als ausreichend erweisen sollten, um Gefahren für den Bestand (die Substanz) der Telegraphen- oder Fernsprechanlagen oder die Sicherheit des Bedienungspersonals fernzuhalten, bleibt vorbehalten, jederzeit weitergehende gefahrenpolizeiliche Anforderungen zu stellen.

10. Vor dem Vorhandensein der vorgeschriebenen Schutzvorrichtungen darf das Leitungsnetz auch für Probefahrten oder sonstige Versuche nicht unter Strom gesetzt werden. Von der beabsichtigten Unterstromsetzung ist der Telegraphenverwaltung mindestens drei freie Wochentage vorher schriftlich Mitteilung zu machen. Ferner ist ihr mindestens vier Wochen vorher von der beabsichtigten Inbetriebnahme der Bahn oder einzelner Strecken schriftlich Nachricht zu geben.

---

3. Preussische Ministerial-Verfügung vom 5. Mai 1904.

Die Minister des Innern und der öffentlichen Arbeiten haben an die Provinzialbehörden nachstehende Verfügung erlassen: „Durch unseren Erlass vom 13. Februar 1901 haben wir Ihnen eine Zusammenstellung derjenigen Schutzmassregeln mitgeteilt, welche die Telegraphenverwaltung zum Schutze ihrer Anlagen bei dem Bau und Betrieb elektrischer Starkstromanlagen — die

nicht dem Betriebe von Eisenbahnen dienen — für erforderlich erachtet. Dieser Erlass ist dahin missverstanden worden, als ob er die Polizeibehörden habe verpflichten wollen, die Unternehmer von Starkstromanlagen, die mit Telegraphen- und Fernsprechanlagen konkurrieren, zur „Anerkennung" der in der „Zusammenstellung" enhaltenen Forderungen der Telegraphenverwaltung anzuhalten oder ihnen entsprechende polizeiliche Auflagen zu machen. Demgegenüber weisen wir darauf hin, dass nach dem Wortlaute des Erlasses die „Zusammenstellung" der Schutzmassregeln den Polizeibehörden nur „zur Kenntnis" hat mitgeteilt werden sollen, dass dieselbe ausgesprochenermassen nur als Anrecht für privatrechtliche „Vereinbarungen" zwischen dem Unternehmer der Starkstromanlage und der Telegraphenverwaltung gedacht ist, und dass die Herbeiführung privatrechtlicher Vereinbarungen und die Sicherung privatrechtlicher Ansprüche nicht zu den Aufgaben der Polizeibehörden gehört. Das Interesse, welches die Polizeiverwaltung an dem Schutze von Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegenüber elektrischen Starkstromanlagen haben kann, erledigt sich jedoch nicht durch das Vorhandensein oder das voraussichtliche Zustandekommen einer diesen Schutz bezweckenden privatrechtlichen „Vereinbarung" zwischen dem Unternehmer der Starkstromanlage und der Telegraphenverwaltung. Denn soweit die Polizeibehörden für diesen Schutz zuständig sind, haben sie ihn von amtswegen zu gewährleisten. Nach der Reichsgesetzgebung beschränkt sich der polizeiliche Schutz der Telegraphen- und Fernsprechanlagen gegenüber anderen elektrischen Anlagen aber auf den allgemeinen Schutz für Leben und Eigentum, also auf den Schutz für den Bestand (die Substanz) der Telegraphen- und Fernsprechanlagen und auf den Schutz für die Sicherheit (Leben und Gesundheit) des Bedienungs-Personals, während der behördliche Schutz des Telegraphen- und Fernsprechbetriebes gegen „störende Beeinflussungen" durch andere elektrische Anlagen den Gerichten vorbehalten ist. Wir beziehen uns dafür und bezüglich des Begriffes der „störenden Beeinflussungen" auf unseren, die elektrischen Kleinbahnen betreffenden Erlass vom 9. Februar d. J.

Wir bestimmen deshalb, dass die Polizeibehörden bei der Herstellung von Starkstromanlagen, durch deren Bau oder Betrieb der Bestand vorhandener Telegraphen- oder Fernsprechanlagen oder die Sicherheit des Bedienungspersonals gefährdet werden könnten, von amtswegen von dem Unternehmer der Anlage die Vorlegung der zur polizeilichen Prüfung des Vorhabens erforderlichen Unterlagen (Plan, Erläuterungsbericht oder dgl.) zu verlangen, über diese die Telegraphenverwaltung zu hören und die zum Schutze der Telegraphen- und Fernsprechanlagen erforderlichen Vorkehrungen durch polizeiliche Verfügung förmlich festzusetzen haben. Dies gilt namentlich von Starkstromanlagen, die öffentliche Wege benutzen oder kreuzen sollen, die bereits von Telegraphen- oder Fernsprechanlagen benutzt oder gekreuzt werden. Die Erörterungen der Polizeibehörden mit der Telegraphenverwaltung und die dem Unternehmer der Starkstromanlage im Hinblick auf die Telegraphenanlagen zu machenden polizeilichen Auflagen haben sich grundsätzlich auf diejenigen Vorkehrungen zu beschränken, die den Bestand (die Substanz) der Telegraphen- oder Fernsprechanlagen, sowie Leben und Gesundheit des Bedienungspersonals zu schützen bestimmt sind. Welche Vorkehrungen hierfür im allgemeinen in Frage kommen, ergibt sich aus unserem oben erwähnten Erlass vom 9. Februar d. Js., insonderheit aus Ziffer 1, 4, 5, 6, 7 und 8 der „Allgemeinen Anforderungen"

daselbst. Ein polizeiliches Interesse, dem Unternehmer der Starkstromanlage die Benutzung oder Mitbenutzung der Erde zur Rückleitung grundsätzlich zu verbieten, liegt nicht vor. Ein solches Verbot kann nur in Frage kommen, wenn und soweit von dieser Installationsform im Einzelfalle tatsächlich Gefahren für Leben und Gesundheit und Eigentum zu besorgen sein sollten (vgl. auch Ziffer 2 der Bemerkungen und Ziffer 3 der Anlage des Erlasses vom 9. Februar d. J.). Die dem Unternehmer zu machenden Auflagen haben sich nicht auf ihren Betrieb (Erhaltung der Schutzvorkehrungen, spätere Veränderungen und Erweiterungen der Anlage, Aufgrabungen u. dgl.) zu erstrecken.

Wenngleich die Telegraphenverwaltung über die dem Unternehmer der Starkstromanlage zu machenden polizeilichen Auflagen zu hören ist, steht ihr ein Mitbestimmungsrecht bezüglich dieser Auflagen nicht zu, da über den Inhalt polizeilicher Verfügungen massgebend nur die Polizeibehörde befinden kann. Im Hinblick auf die Bedeutung der Telegraphen- und Fernsprechanlagen und die besondere Sachkenntnis und Erfahrung der Telegraphenverwaltung ist ihr jedoch Gelegenheit zur Rückäusserung zu geben, falls oder soweit die Polizeibehörde den Anträgen der Telegraphenverwaltung nicht glaubt stattgeben zu können. Imgleichen sind die Forderungen der Telegraphenverwaltung vor der endgültigen Beschlussfassung der Polizeibehörde stets dem Unternehmer der Starkstromanlage zur Erklärung mitzuteilen. Zur Beschleunigung des Verfahrens empfiehlt sich, diese Erörterungen eventuell in kontradiktorischer Verhandlung mit den beiden Teilen zu erledigen. Die dem Unternehmer zu machenden Auflagen sind stets ohne jede Beziehung zu etwaigen zwischen ihm und der Telegraphenverwaltung getroffenen oder zu treffenden privatrechtlichen „Vereinbarungen" festzusetzen, vollständig in die polizeiliche Verfügung aufzunehmen und als solche zu kennzeichnen, die der Unternehmer der Polizeibehörde gegenüber zu erfüllen hat. Demgemäss sind alle Auflagen zu unterlassen, die den Unternehmer beim Bau und Betriebe der Anlage in irgend einer Form von der Telegraphenverwaltung, insonderheit auch von deren Einvernehmen oder Zustimmung abhängig machen könnten. Das schliesst nicht aus, ihm in einzelnen Beziehungen, beispielsweise bezüglich geplanter Aufgrabungen oder Veränderungen oder Erweiterungen der Anlage u. dgl., eine vorgängige Anzeige an die Telegraphenverwaltung zur Pflicht zu machen. Die Bestimmungen unter Ziffer 9 und 10 der Anlage des Erlasses vom 9. Februar d. Js. sind nach Bedarf entsprechend zu verwerten. Von der polizeilichen Verfügung an den Unternehmer der Starkstromanlage, durch welche ihm besondere Auflagen zum Schutze der Telegraphenanlagen gemacht oder von der Telegraphenverwaltung verlangte Auflagen abgelehnt werden, ist stets eine Abschrift der Telegraphenverwaltung mitzuteilen.

Es ist selbstverständlich, dass bei der polizeilichen Prüfung geplanter Starkstromanlagen nicht bloss der Schutz der Telegraphen- und Fernsprechleitungen, sondern aller elektrischen Leitungen und aller Interessen wahrzunehmen ist, die durch die Anlage gefährdet werden könnten. Durch diesen Erlass finden unsere Erlasse vom 16. März 1886 und vom 21. Juni 1898 ihre Erledigung."

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der
Elektrotherapie und Radiologie
und verwandter Disziplinen der mediz. Elektrotechnik
Herausgegeben von
Dr. Hans Kurella-Ahrweiler und Professor Dr. A. v. Luzenberger-Neapel

Heft 6

Die Kondensatormethode

ihre klinische Verwertbarkeit und ihre theoretischen Grundlagen
unter Berücksichtigung der neuesten Erregungsgesetze

Von

Dr. J. Zanietowski



Leipzig 1906
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17

Zwanglose Abhandlungen aus dem Gebiete der Elektrotherapie und Radiologie und verwandter Disziplinen der medizinischen Elektrotechnik

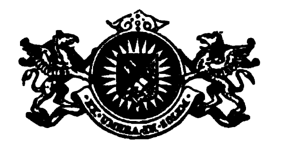
Heft 6

Die Kondensatormethode

ihre klinische Verwertbarkeit und ihre theoretischen Grundlagen unter Berücksichtigung der neuesten Erregungsgesetze

Von

Dr. J. Zanietowski



Leipzig 1906
Verlag von Johann Ambrosius Barth
Roßplatz 17

Sonderabdruck
aus der Zeitschrift für Elektrotherapie, Band 7 und 8.

Druck von A. Hopfer in Burg b. M.

Inhalts-Verzeichnis.

I.

Wenn ich es überhaupt wage, nochmals auf die praktische Verwertbarkeit der Kondensatorentladungen zurückzukommen, nach 20 Arbeiten eigener Feder über diesen Gegenstand und nach wichtigen Abhandlungen bedeutender Forscher, die teilweise meine Beobachtungen nachprüften und mit wohlwollender Kritik bestätigten, teilweise mit eigenen Ergebnissen diese wichtige Lehre ergänzten, — so tu' ich es heute aus doppeltem Grunde. — Einerseits ist nämlich die obgenannte Methode noch nicht in allen Einzelheiten dem Praktiker zugänglich, und es scheinen sogar manchmal die betreffenden Begriffe direkt mißverstanden zu werden; andererseits stehen wiederum die modernen Theorien der Neuzeit, welche einen Umschwung in der Elektrobiologie hervorrufen können, in so engem Zusammenhang mit meinen früheren analogen Beobachtungen und mit meinen neuesten wichtigen Ergebnissen, deren Priorität ich gleichzeitig in einem versiegelten Schreiben der Wiener Akademie der Wissenschaften wahre, — daß ich mich entschlossen habe, sobald wie möglich die Aufmerksamkeit der Kollegen auf das Verhältnis aller dieser Beobachtungen und deren Wert zu lenken. — Als derjenige, der in diesem Gegenstand seit 10 Jahren arbeitet, und von dem neuerdings Mann und Bernhardt so wohlwollend die Meinung äußerten, „ich hätte erst für die Elektrodiagnostik eine wirklich praktische Methode der Kondensatorverwendung ausgestaltet“ und „ich hätte durch sorgfältige Untersuchungen die Methode ausgebildet, deren eifrigster Verfechter und Vertreter ich bin“, fühle ich mich nicht nur berechtigt, sondern sogar verpflichtet, heute über den endgültigen Stand dieser wichtigen Lehre, im Verhältnis zu den physiologischen Gesetzen der Neuzeit, meine Meinung zu äußern.

Die vorliegende Mitteilung soll, wie meine früheren klinischen Arbeiten, in erster Reihe dem Fortschritte der praktischen Elektromedizin dienen,

[1]) Zusammenstellung eigener neuer Versuche aus den Anstalten von Professor Strümpell, Professor Lummer und Doc. Dr. Mann mit älteren eigenen Versuchen aus den Kliniken der Herren Professor Mendel, Jolly, Nothnagel, Krafft-Ebing und Korczyński.

sie soll aber gleichzeitig auch die theoretische Begründung der Methode zur Darstellung bringen, deren Kenntnis für die wissenschaftliche Verwertung einer jeden Methode unerläßlich ist. Sie soll ferner einige Mißverständnisse aufklären, die ich hie und da zwischen günstigen Kritiken meiner Methode gelesen habe, so z. B. die Anschauung, ich hätte die Energie als Maß einführen wollen, oder ich hätte die bequemen und üblichen Formeln der Entartungsreaktion durch die Gesetze der Kondensatorentladung verdrängen wollen u. a. m.

Ich werde trachten, diese Mißverständnisse, welche gewissermaßen Lücken des im allgemeinen heute anerkannten großen Ganzen bilden, hier im Laufe des Textes in Kürze ohne Polemik zu berichtigen und zu erläutern.

Möge mir nun zum Schlusse dieser Einleitung gegönnt sein, nochmals allen denjenigen Herren bestens für Rat und Hilfe zu danken, die seit etwa 10 Jahren meine emsige Arbeit förderten. — In erster Linie sind hier die Herrn Professoren v. Strümpell und Lummer, Docenten Dr. Mann, Krause und Schäfer in Breslau zu erwähnen, welche mich bei der Durchführung meiner allerletzten wichtigen Versuche unterstützt haben. In früher Zeit haben mich zu besonderem Danke die Herrn Professoren Mendel, Exner und Frankl-Hochwart verpflichtet. Schließlich habe ich dreier, leider zu früh verstorbener Meister zu gedenken: Jolly, v. Krafft-Ebing und Korczyński.

Ich habe vor sechs Jahren, in derselben Zeitschrift, eine meiner ersten Arbeiten, in welcher ich der Kondensatormethode einen praktischen Weg bahnen wollte, mit einem alten deutschen Spruch angefangen, der sehr treffend den Zustand des präzisen Eichungswesens in der praktischen Elektromedizin kennzeichnete. — Ich hatte damals den sonderbaren Eindruck, und wohl alle Gründer der „Zeitschrift für Elektrotherapie", welche der Nutzbarmachung bekannter elektrischer Prozesse in der praktischen Medizin dienen sollte, teilten diesen Eindruck, als ob die Elektromedizin zur Zeit noch auf einer niedrigeren Stufe stände, wie die wissenschaftliche Physik und Physiologie, die mit so großem Eifer an dem Ausbau der Elektrizitätslehre arbeiten. — Ich kann nun heute mit Freude konstatieren, daß gerade in den letzten sechs Jahren, sowohl auf dem Gebiete der Kondensatorlehre, als der Elektrodiagnostik im Allgemeinen, der Abgrund, welcher zwischen theoretischen Forschungen an isolierten Tiergeweben und praktischen Untersuchungen des Menschenorganismus damals zu herrschen schien, durch wertvolle Arbeiten von Theoretikern einerseits und Praktikern andererseits, ausgefüllt zu werden beginnt, es ist aber im

großen Ganzen doch immer noch das Interesse der Praktiker, die sich ernstlich mit präziser Elektrodiagnostik beschäftigen, den theoretischen Fragen gegenüber auffallend unbedeutend. — Dies ist übrigens nicht nur meine persönliche Beobachtung, und wenn ich den Grund dieser Tatsache suche, so finde ich denselben sowohl in dem Umstande, daß die immer auftauchenden „Novitäten" viel Zeit und Geld rauben, als auch in der Tatsache, daß die interessanten Theorien der modernen Wissenschaft, so glänzend sie an und für sich sind, doch beinahe immer, wie wir es sehen werden, in Einzelheiten differieren, und eben durch diese Differenzen, sowie durch die trockene Form selbst häufig beim Praktiker Mißtrauen und Abneigung erwecken. — Ich meine hier die äußerst wichtigen und von Praktikern beinahe gar nicht gekannten Gesetze von hervorragenden Forschern, wie Hoorweg, Weiss, Lapicque, und die allerneuesten Formeln, welche Cluzet, auf Grund von sorgfältigen und interessanten Versuchen, für die Kondensatorentladung auf mathematischem Wege deduzierte. — Alle diese Gesetze sind für den Fortschritt der Wissenschaft von sehr großem Wert, und obwohl sie scheinbar in Kleinigkeiten differieren, behandeln sie die Abhängigkeit der Erregung von zwei Koëffizienten, eine Tatsache, die heute trotz ihrer trockenen Hülle unbedingt berücksichtigt werden muß. — Aus obigen Erörterungen geht nun hervor, daß wir hier in möglichst zugänglicher Form zu sprechen trachten werden, sowohl trockene Formeln als polemische Abschweifungen meidend, und auch womöglich zwischen scheinbar verschiedenen Theorien eine Brücke für den Praktiker zu bauen versuchend. — Andererseits aber werden wir kaum, laut dem was früher gesagt wurde, die neuen Erregungsgesetze von der Kondensatorlehre hier trennen können, wodurch die Sache an und für sich nur gewinnen wird. Wir werden es um so lieber tun, als eben Prof. Bernhardt in seiner letzten schönen Arbeit unsere Versuche bestätigte und mit eigenen Beobachtungen ergänzte, jedoch keine Zeit hatte, sich mit den Erregungsgesetzen eingehend zu beschäftigen. — Es liegt nun eben heute darin der Kern der Sache, daß die Kondensatorversuche einerseits dem Praktiker eine billige, handliche und doch präzise Methode bieten, andererseits aber vollkommen die Postulate der neuen Erregungsgesetze erfüllen, wobei eben der von mir durchgeführte Vergleich der Entladung mit der üblichen Intensität oder auch der „optimalen" Entladung mit der „maximalen" eines Mikrofarades, vom theoretischen Standpunkte aus, den mathematischen Begriffen der „Anfangserregbarkeit" und des „Extinktionskoëffizienten" so nahe liegen. — Um alle diese Begriffe dem Praktiker, im Verhältnis zu meinen neuesten Versuchen und in logischem Zusammenhang mit den

früheren zugänglich zu machen, müssen wir den verhältnismäßig großen Gegenstand möglichst übersichtlich zusammenfassen und in einige Kapitel teilen.

Wir werden also, der Reihe nach, nach kurzen historischen und den notwendigsten technischen Vorbemerkungen, auf folgende Fragen antworten:

1. Woher ist überhaupt das Bedürfnis entstanden, zu Kondensatorentladungen in der Praxis zu greifen und, inwiefern sind dieselben im Verhältnis zu den neuesten Versuchen und Theorien berechtigt?

2. Welche Schwankungen hat diese Methode durchgemacht und in welcher endgültigen Form entspricht sie am besten den modernen Ansprüchen des Praktikers?

3. In welchem Verhältnis stehen unsere früheren Kondensatorversuche zu den letzten Erregungsgesetzen, und in welchem, bisher nicht berücksichtigtem Zusammenhang die eben für die Klinik wichtigen Begriffe von Körperkapazität, Widerstand und Leitungsvermögen?

Diese Fragen werden wir in den nachfolgenden Kapiteln beantworten, wobei wir jedoch schon jetzt bemerken, daß wir manchmal, der Klarheit wegen, Einzelheiten vorwegzunehmen genötigt sein werden, die eigentlich zu einem späteren Kapitel gehören.

II.

Bevor wir die technischen und praktischen Einzelheiten der Kondensatormethode besprechen, will ich gleich im voraus die wichtige Frage beantworten, warum wir überhaupt gezwungen waren, uns zur Kondensatormethode zu wenden, und damit den bisherigen Methoden noch eine neue hinzuzufügen. In der Beantwortung dieser Frage liegt auch der Kern des manchmal hie und da betonten Zweifels, ob der konstante oder der faradische Strom nicht ausreichen dürfte.

In der Praxis wird, wie bekannt, bei Anwendung des konstanten Stromes einer Batterie, gewöhnlich die Intensität desselben, oder auch seit einer gewissen Zeit, obwohl nicht so oft, die Spannung desselben als maßgebend berücksichtigt. Die Anwendung des ersten Maßes, also des bisher üblichen Maßes der am Galvanometer zu ermittelnden Intensität, ist nun bekanntlich von mancher Seite neuerdings in Zweifel gezogen worden, weil der Ohm'sche Widerstand des Körpers, der für den Wert der Intensität maßgebend ist, im Moment des die Zuckung erregenden Stromschlusses gar nicht in Betracht kommt, wie es seiner Zeit Dubois bewiesen hat. — Andererseits ist wiederum der Widerstand selbst, sogar in der üblichen Periode des sogenannten „relativen Widerstandsminimums",

bei verschiedenen normalen Individuen zu sehr von der Individualität und von den Eigenschaften der Haut und der Elektroden abhängig, als daß die vom Widerstand abhängige Intensität eben ein konstantes und richtiges Maß bieten dürfte.

Die Bestimmung der Erregbarkeit nach Spannungseinheiten des konstanten Stromes, welche sich direkt am Voltmeter ablesen lassen, und vom Begriffe des veränderlichen Widerstandes nicht abhängig sind, hat sich wiederum, trotz der äußerst wichtigen Arbeiten von Dubois (31 usw.) und Cornaz (8), die uns manches für die Zukunft der Elektrobiologie ans Licht brachten, doch nicht in die Praxis eingebürgert, nachdem laut Versuchen verschiedener Forscher, und besonders des Unterfertigten „über Voltaïsation" (94) und des Herrn Hoorweg „über den galvanischen Reiz" (47), eigentlich weder die Intensität noch die Polspannung ein definitives genaues Maß der Erregung bilden. — Die obgenannten Tatsachen wurden von mehreren Forschern bestätigt, und in besonders klarer Weise von Mann in seinem Handbuch und in seiner Berner Vorlesung auseinandergelegt (63 und 65).

Über den faradischen Strom schreibt wiederum, mit vollem Recht, Mann (siehe Literaturverzeichnis am Schluß der Abhandlung Nr. 62 und 64), daß derselbe in den obgenannten praktischen Beziehungen wohl günstiger sein würde, weil dabei Widerstandsveränderungen wenig oder gar nicht in Betracht kommen. — Diese Tatsache hatte er auch in einer äußerst interessanten Arbeit „über den Leitungswiderstand bei Untersuchung der faradischen Erregbarkeit" schon im Jahre 1889 bewiesen, und wir werden auf dieselbe noch im Laufe der vorliegenden Abhandlung, als auf eine äußerst wichtige und zu wenig berücksichtigte Theorie, mehrmals zurückkommen. — Inzwischen betonen wir aber nur so viel, daß Mann selbst zu dem obgenannten Satze über die günstigeren Verhältnisse des faradischen Stromes einen kurzen, aber klaren Passus hinzufügt: „wenn derselbe uns nur die Möglichkeit der Messung in absolutem Maße böte". — Wir brauchen auch hier nicht zu wiederholen, daß der Rollenabstand an verschiedenen Apparaten und sogar zu verschiedenen Zeiten an demselben Apparate, je nach dem Zustande der Stromquelle einen ganz verschiedenen Wert repräsentieren kann, was auch viele Forscher betont haben, und daß alle physikalischen und physiologischen Eichungen der Induktionsapparate sich in der Praxis nicht eingebürgert haben. — Die Ursache dieser Tatsache liegt vielleicht in technischen und finanziellen Schwierigkeiten, vielleicht in einem Mißtrauen zur Spannungsmessung, nachdem dieselbe beim konstanten Strom gewissermaßen diskreditiert wurde, vielleicht endlich im Vorteil, den der konstante Strom doch bietet,

durch die Möglichkeit, die anormale und normale Zuckungsformel zu beobachten. — Diese letzte Tatsache hat, was den konstanten Strom betrifft, mit Recht auch Bernhardt in seiner letzten Abhandlung (10) betont, welche im großen ganzen meine Resultate bestätigt, jedoch noch eine kleine Bemerkung, im Laufe der Abhandlung, erfordern wird, nachdem eben die Kondensatormethode interessante Schwankungen der Erregbarkeitskoëffizienten liefert. — Kurz und gut, müssen wir, um mit dem faradischen Strom abzuschließen, bemerken, daß derselbe uns in seiner üblichen Form nur ein empirisches, nicht in absoluten Zahlen ausdrückbares und darum nicht vergleichbares Maß bietet, während die nach absoluten Maßen geeichten Induktionsapparate, die eine exakte Messung gestatten, sich nicht eingebürgert haben.

Die diagnostische Verwendung der Franklinisation und der Widerstandsmessung kommen als exakte Methoden wiederum beinahe außer Betracht, da wir bei der ersteren (bisher wenigstens) über keine präzisen Meßapparate verfügen, außer dem Abstand der Entladungskugeln, und da gewisse Abweichungen des Widerstandes zwar bei verschiedenen pathologischen Zuständen sich finden, jedoch, wegen großer individueller Differenzen, die, wie es mit Recht Mann (65) betont, auch bei gesunden Personen vorkommen und die Aufstellung eines präzisen Normalmaßes unmöglich machen, einen wesentlich praktischen Wert für die Elektromedizin nicht haben.

Somit stoßen wir eigentlich überall, bei Anwendung der üblichen, meßbaren Ströme, auf dieses ewige Hindernis des veränderlichen Körperwiderstandes, das überall dort eine wichtige Rolle spielt, wo eben präzise Messung sich eingebürgert hat. — Wir können zwar auch bei Anwendung des konstanten Stromes diesen Widerstand teilweise unschädlich machen, wenn wir kurze Stromstöße (mit der Kugel von Dubois, dem Pendel von Gärtner, dem Relais von Zanietowski) gebrauchen, den Reiz müssen wir aber jedenfalls in Einheiten der Intensität oder Voltspannung ausdrücken, über welche wir eigentlich im unklaren sind, nachdem Dubois sich geäußert hatte, daß „bei Reizversuchen das Voltmeter entschieden das Galvanometer ersetzen muß“ (Zeitschr. f. Elektrotherapie Nr. I, 1899, S. 12) und Hoorweg dagegen „die als Maß der Erregung durch alle Elektrotherapeuten anerkannte Intensität“ (ibidem Nr. 2, 5, 60) verteidigt, und dabei das Verhältnis derselben zu seinem interessanten, mathematischen Grundgesetze der Erregung beschreibt. — Beide Verfasser waren aber darüber einig, daß „der Hautwiderstand für kurze Stromstöße gering und konstant ist“, obwohl die Erklärungen dieser Tatsache von einander differierten. — Die Bedingungen der kurzen Wirkung und der präzisen

Meßbarkeit erfüllt nun der Kondensator, da einerseits seine Entladung in rapider, genau meßbarer Zeit vor sich geht, und andererseits dieselbe in leichter und präziser Weise vom Praktiker definiert werden kann, was Kapazität, Spannung, Zeitdauer, Quantität und Entladungsenergie betrifft. — Wir hätten gewissermaßen mit einem Gefäß von bekanntem Inhalt zu tun, das wir mit einer bestimmten Quantität Wasser füllen, um dieselbe von einer gewissen Höhe und in einer gewissen Zeitdauer herauszugießen und dadurch einen gewissen Effekt hervorzubringen. — Der Vergleich ist grob, aber doch zugänglich, und wenn man manchmal liest, daß der Kondensator in gewissen Beziehungen ähnlich wirkt wie andere Stromesarten oder denselben Gesetzen unterliegt wie andere Elektrizitätsformen, so muß man doch zu einem so groben Vergleich Zuflucht nehmen, um zu beweisen, daß wir nicht mit geheimnisvollen Kräften experimentieren wollen, sondern eine praktisch verwendbare Form bekannter Naturgesetze bearbeiten.

Auf obgenanntem Wege sind wir also zum Kondensator gekommen, durch das Bedürfnis ältere Methoden zu vervollkommnen; „in der Verlegenheit griffen wir zu den Kondensatoren“, wie es Dubois mit Recht im Jahre 1888 (Seite 10, Untersuchungen über die physiologische Wirkung der Kondensatorentladungen. Bern) betont hatte. — In klarer Weise äußerte sich auch darüber Mann auf dem II. Elektrologen-Kongreß in Bern (Comptes-Rendus. Seite 40), indem er sagte: „die Erkenntnis, daß der Reizvorgang in der variablen Periode des Stromes abläuft, mußte notwendigerweise zu dem Bestreben führen, möglichst kurz dauernde elektrische Vorgänge zur Reizung zu benutzen und dazu scheinen sich die Kondensatoren in wirklich hervorragender Weise zu eignen“. — Ich muß auch bei dem Schluß dieses Kapitels betonen, daß Hoorweg seinerzeit durch strikte wissenschaftliche Versuche die Fehlerquellen der Induktionsapparate erörterte, und den negativen Einfluß von zwei nachfolgenden Kondensatorentladungen auf den Körperwiderstand auf mathematischem Wege bewies; somit hätte auch hier die „Unzweckmäßigkeit der Induktionsapparate“ (um den Ausdruck von Hoorweg zu gebrauchen) einen Weg für die Brauchbarkeit des Kondensators gebahnt (52, 53).

Im allgemeinen hat uns also die Erkenntnis über Unbrauchbarkeit älterer Methoden für präzise Zwecke dazu geführt, einen Gedanken praktisch zu verwerten, der allerdings in der Theorie nicht neu war, aber für klinische Zwecke erst neuerdings eingehend gewürdigt wurde, wie wir es übrigens noch mehrmals betonen werden. — Die praktische Würdigung dieses Gedankens hat aber „vice-versa“ manches ans Licht gebracht, das für die Theorie von Belang ist.

III.

Laut üblicher Reihenfolge müßten wir jetzt einen Blick auf die Literatur des Gegenstandes werfen. — Dieselbe ist jedoch schon so oft in meinen früheren Arbeiten und in denjenigen anderer Autoren erwähnt worden, daß ich nur kurzweg die betreffenden Namen erwähnen werde, und sowohl Zeit als Raum für wichtigere Mitteilungen verwerte.

Primitive Versuche mit Kondensatorentladungen wurden schon von Volta und Dubois-Reymond (siehe 79, 28) beschrieben; über den näheren Zusammenhang der Entladung und des „nicht immer gleichen" Reizeffektes veröffentlichten in weiterer Folge Chauveau und Boudet (13, 7) ihre Meinung; es wurde aber erst später die volle Bedeutung der Kondensatorentladungen gewürdigt, und es haben die betreffenden theoretischen und physiologischen Gesetze eingehend d'Arsonval (1—5), Dubois (39), Cybulski und Zanietowski (20—27), Zanietowski (84—107), Hoorweg (47—57), Wertheim-Salomonson (39), Waller (8) u. a. studiert und beschrieben. Am Menschennerv hat wohl Dubois (39) die ersten klinischen Vorversuche (traumatische Lähmung des Radialis, Deltoïdeusreaktion), im engeren Sinne des Wortes, näher durchgeführt, was auch in Lehrbüchern hier und da betont wird, und es ist diese Tatsache für die Geschichte der praktischen Frage von Belang. — Ich betone dies nicht als gleichgültige Kleinigkeit einer wissenschaftlichen Entwicklungsgeschichte, sondern um dem berühmten Forscher das zu gewähren, was ihm sowohl in dieser Frage, als auch in derjenigen des später zu berücksichtigenden variablen Widerstandes gebührt. — Andererseits wiederum muß im Vergleich zu unseren Versuchen, mein Satz vom Jahre 1894 über bisherige grobe Messung des Potentiales noch heute gelten, und es hatte Dubois selbst anerkannt, daß seine Batterie ihm nur Sprünge von Element zu Element gestattete, deren elektromotorische Kraft nicht vor jedem Versuche geprüft war.

Auch betone ich bei dieser Gelegenheit, daß Dubois, wie er es selbst beschrieben hat, nur Gelegenheit hatte, eine traumatische Lähmung des Radialis am Oberarm und eine Reaktion des Deltoïdeus und der Thenarmuskeln zu beobachten. — Er fügte auch damals mit seiner bekannten wissenschaftlichen Gewissenhaftigkeit gleich hinzu, daß „er nicht wagt, seine Resultate zu verallgemeinern" (S. 57) und daß „seine Zahlen keinen Anspruch auf allgemeine Gültigkeit machen können" (S. 65). — Spätere Forscher experimentierten auch nicht am Krankenbette, sondern an einzelnen Nerven und Muskeln, hauptsächlich an gesunden, wie z. B. Hoorweg am Supinator (Nr. 49, Bd. 53), Salomonson am Biceps

(Nr. 69, Bd. 91), Waller am Ulnaris (Nr. 81, Bd. 65), und manchmal sogar unter solchen Verhältnissen, die einfach als „Körper“ oder „Menschennerv“ bezeichnet wurden. — Den sonst ganz richtigen Grund dazu finden wir in der Tatsache, daß eigentlich alle obgenannten Versuche hauptsächlich einem Zwecke dienten, und zwar demjenigen eines eingehenden Studiums über die theoretischen Gesetze der Kondensatorentladungen. — Diese an und für sich äußerst wichtigen Gesetze waren aber, wie es die Autoren anerkennen müssen, manchmal so verschieden, daß der Praktiker auf die Verwertung derselben momentan zu verzichten gezwungen war, um zu seinen groben, aber altbewährten Methoden der Elektrotherapie und Elektrodiagnostik zurückzukehren. — Ich erinnere nur in kurzen Zügen, und tu' es der Unparteilichkeit wegen, nach einer neuesten Zusammenstellung von Cluzet (Nr. 18), daß laut einem Verfasser die Quantität der Entladung wirkt, laut einem anderen die Energie, laut einem dritten „the rate of impact“; dann kommen die wichtigen und interessanten mathematischen Formeln der Erregung von Cluzet, Hoorweg, Weiss, Lapicque u. a., die sehr nahe aneinander liegen und heute unbedingt vom Theoretiker und vom Praktiker berücksichtigt werden müssen, jedoch wiederum dem Praktiker verschiedene Differenzen beweisen. Es genügt, wenn ich erwähne, daß Cluzet (Nr. 18) S. 108) die Formel von Hoorweg als „approchéé“ bestimmt, und diejenige von Weiss als „seule exacte“, während wiederum Hoorweg beweist (Nr. 47, S. 5), die Formel von Weiss „wäre nur für gewisse Versuche gültig, und scheiterte sonst“, oder wenn ich daran erinnere, wie Lapicque die Formel von Hoorweg korrigiert, und („émet des doutes sur la généralité“) diejenige von Weiss bezweifelt (Nr. 60), während Cluzet beweist, daß die Korrekturen von Lapicque nicht richtig sind und nur die Regel von Weiss für alle Stromesarten gültig ist. — Ich zitiere absichtlich diese ganze Polemik, welche für die Wissenschaft von Belang ist, um zu beweisen, daß dem Praktiker im Labyrinth verschiedener mathematischer Erwägungen und Beweise, wenn er überhaupt Lust und Zeit hatte, sich damit zu beschäftigen, gar nichts anderes übrig blieb, als eine verwickelte Methode bei Seite zu lassen. — Deswegen auch blieb in dieser langen Periode von theoretischen Forschungen die praktische Seite der klinischen Verwendbarkeit wenig berücksichtigt, und es tauchten erst in allerletzten Zeiten einige elektrodiagnostische Beobachtungen auf, wie z. B. diejenigen von Chanoz (11), welcher eigentlich mit der alten monopolaren Methode das Erregungsgesetz für sensitive Nerven nachprüfte, diejenige von Sudnik (74—6), welche im elektrodiagnostischen Teil hauptsächlich einen anderen Gegenstand des Verhältnisses von direkten und alternativen Entladungen

beschreibt, oder wie, last but not least, die wichtigen Arbeiten von Bernhardt (10) und von Mann (62—7). — Der erste derselben bestätigte das große Ganze meiner langjährigen klinischen Versuche und ergänzte dasselbe mit einigen interessanten Beobachtungen; der zweite gelangte bei der Nachprüfung meiner Ergebnisse nicht nur zu „erfreulichen Resultaten", sondern trachtete auch selber darnach, durch wissenschaftliche Erörterungen auf den Kongressen von Bern, Cassel und Breslau und durch Vereinfachung betreffender Apparate, nach Rücksprache mit mir, die Methode dem praktischen Arzt möglichst zugänglich zu machen. — Ich füge zuletzt die neuesten theoretischen Arbeiten von Weiss, Hoorweg, Cluzet und Lapicque hinzu, die sich eigentlich mit biologischen Theorien befassen, jedoch, wie wir es sehen werden, in engem Zusammenhang mit meinen früheren klinischen Arbeiten stehen, und glaube schon in knapper Weise die betreffende Literatur geschildert zu haben. — Diese ganze Literatur scheint einer Gebirgskette ähnlich, aus welcher neue Bergesspitzen emporsteigen; obwohl dieselben nicht unmittelbar aus der Ebene auftauchen, sind sie doch nichts destoweniger Bergesspitzen. So greifen auch die neuesten elektromedizinischen Leistungen auf die Bestrebungen der Vorgänger zurück, und bringen doch neue Tatsachen ans Licht. — Ich wünsche von Herzen und ohne Eigendünkel, daß in diesem großen ganzen meine bescheidenen langjährigen klinischen Erfahrungen und Publikationen auf diesem Gebiete, die hauptsächlich damals durchgeführt waren, als der wissenschaftliche Horizont von schweren Wolken polemischer Theorien getrübt war, und beinahe kein Praktiker sich damit befaßte, noch weiter manches zur Entwicklung der praktischen Elektromedizin beibringen können.

IV.

Nach dieser kurzen Zusammenfassung der betreffenden Literatur glaube ich einige Worte den physikalischen Gesetzen der Kondensatorentladung widmen zu dürfen, und zwar deswegen, weil die meisten elektromedizinischen Handbücher (mit Ausnahme einiger, wie z. B. desjenigen von Mann) entweder gar nicht oder sehr wenig darüber schreiben. — Ich will auch zur Beschreibung einige kurze Formeln hinzufügen, damit der Leser nicht überall danach herumzusuchen braucht, und aus einer logischen Analyse derselben ohne weiteres über den Einfluß wichtiger Faktoren praktische Schlußfolgerungen ziehen kann. — Ich meine hier vor allem den Einfluß der Entladungszeit und des Leitungswiderstandes im Verhältnis zu der Geräumigkeit dieses Elektrizitätssammlers, den wir „Kondensator" zu nennen pflegen.

Mit dem Namen eines Kondensators bezeichnen wir, laut Angaben der Fachliteratur, im breitesten Sinne des Wortes, einen Apparat, der auf dem Prinzip der gegenseitigen Influenzierung zweier Metallkörper beruht, welche durch einen Isolator getrennt sind. — Sehr zugänglich ist auch die Definition von Mann (Nr. 65, S. 85), welcher sagt, daß zwei leitende Flächen mit einer isolierenden Zwischenschicht einen Ansammlungsapparat der Elektrizität darstellen, und deswegen als Kondensator bezeichnet werden. — Als primitive Kondensatoren sind also der Kleistsche Nagel von 1745, die Franklinsche Tafel, die Leydener Flasche, die zerlegbaren Apparate von Alpinus anzusehen. — Diese Apparate kommen aber nur bei der Franklinisation zur Verwendung und wurden nur zu denjenigen primitiven Versuchen gebraucht, welche ich am Anfang des obigen Literaturverzeichnisses zitierte, und zwar von Volta als Glasplatten mit Staniol, von Cavendish und Dubois-Reymond als Maßflaschen. Über die heutige Verwendung derselben in der Influenzmaschine von Wimshurst oder Töpler-Eulenburg, in den Transformatoren von d'Arsonval, in den Induktorien von Ruhmkorff und Röntgen sind die Praktiker genügend instruiert, und ich habe auch übrigens darüber in populärer Weise eine technische Mitteilung im I. Heft der „Zeitschrift für Elektrotherapie" im Jahre 1900 veröffentlicht (Nr. 90).

Diejenige Form, welche uns aber hier interessiert und für direkte Entladungen in der Elektrodiagnostik verwertbar ist, beruht auf der Tatsache, daß durch eine Vermehrung der leitenden Flächen und der isolierenden Zwischenschichten ein starker Kondensator konstruiert werden kann, dessen Größe und Ladungsbedingungen wir nach Wunsch messen und variieren können. Da eine jede mit Stanniolblättern oder Metallplatten belegte Glas- oder Glimmerplatte eine gewisse Kapazität besitzt, d. h. die Möglichkeit, eine bestimmte Elektrizitätsmenge aufzunehmen, sobald sie mit einer Elektrizitätsquelle verbunden ist, so stellt eine solche Sammlung von Platten gewissermaßen eine Summe von Kapazitäten vor, deren jede, wie wir sehen werden, von der Größe und dem Abstande der Metallflächen abhängig ist. — Wir haben also die Möglichkeit, alle Momente, von welchen die Größe der reizenden Kondensatorentladung abhängig ist, zu verändern. — Nicht allein dieses — wir können den Kondensator so einrichten, daß, laut dem Ausdruck von Pierson-Sperling (109), durch eine geeignete Vorrichtung nur ein Strom von ganz bestimmter Dauer herausgelassen werden kann. — Es kommt also noch der wichtige Begriff der „Zeit" hinzu, den manche Autoren sogar in der Neuzeit vergessen, wenn sie äußern, daß die Kondensatormethode „einen neuen und nicht billigen Apparat notwendig macht", während der konstante

Strom mit Hilfe des Gärtnerschen Pendels doch nicht uninteressante pathologische Befunde liefert; der Kondensator ist eben, was den Begriff der Zeitdauer anbelangt, quasi ein „billiges Gärtnersches Pendel“ und bietet außerdem andere wichtige Vorzüge. — Nach dieser Abschweifung, wegen gelegentlicher Besprechung der Momente, von welchen bei Kondensatorentladungen die Rede sein kann, kehre ich zu seiner Definition zurück.

Der am meisten zugängliche und populäre Vergleich, den ich in der Literatur gefunden habe, ist wohl der alte und grobe von Dubois. — Eine elektrische Batterie oder ein Element derselben lassen sich mit einem Gefäß vergleichen, bei welchem durch eine passende Zuflußvorrichtung das Niveau der im Gefäß sich befindenden Flüssigkeit konstant erhalten bleibt; solange der Hahn des Gefäßes geschlossen ist, bleibt die durch die Höhe der Wassersäule ausdrückbare Kraft in Ruhe, wie es auch bei einer offenen Kette von elektrischen Elementen der Fall ist; wird aber der Hahn geöffnet, so fließt das Wasser mit einer gewissen Kraft, die von der Druckhöhle und vom Widerstand abhängt, sowie auch die Kraft des geschlossenen konstanten elektrischen Stromes von der Spannung desselben oder der Elementenzahl und vom Widerstande der Leiter und des Körpers abhängt.

Was ist nun in obigem Vergleich ein Kondensator? Kondensatoren sind Gefäße verschiedener Kapazität, welche abgemessene Flüssigkeitsmengen enthalten können. Wie der Druck einer Wassersäule nur von ihrer Höhe, nicht von der Größe der Gefäße abhängt, so ist auch die Spannung eines Kondensators nur von der Spannung der ladenden Stromquelle, also von der Zahl der mit ihm verbundenen Elemente abhängig. — Sei der Kondensator klein oder groß, so bleibt seine Spannung 1 Volt, wenn er mit einem Element verbunden wird, das 1 Volt Spannung hat, also mit dem üblichen normalen Daniell-Element. — Dagegen ist aber bei solchen Gefäßen von verschiedener Kapazität die Flüssigkeitsmenge verschieden und je nachdem die mögliche Dauer des Ausflusses. — Ebenso ist bei verschiedenen Kondensatoren, die mit derselben Spannung geladen worden sind, doch die Elektrizitätsmenge verschieden, und hängt von der Größe des Gefäßes, also von der Kapazität des Kondensators, ebenso wie von dem Druck des Wassers, also von der Spannung ab. — Es wird also ein Kondensator, den wir als Einheit der Kapazität wählen, mit dem Namen Farad bezeichnen und mit der obgenannten Spannung von 1 Volt laden, eine gewisse Elektrizitätsmenge liefern, die wir ein Coulomb nennen, die aber zweimal größer sein wird als in dem Fall, wo dieselbe Spannung z. B. nur eine kleinere

Kapazität eines halben Farads ladet. — Außerdem ist noch zu betonen, daß ein kleines Wassergefäß nur einen kurzdauernden Strom liefern kann, ein größeres, obwohl bei demselben Druck, einen länger dauernden Strom; so ist es auch bei Kondensatoren von verschiedener Kapazität der Fall, d. h. ein großer Kondensator wird sich in einer längeren Zeit entladen, als ein kleiner, und von dieser Zeit der Entladung sind eben alle anderen Momente des Experimentes so abhängig, daß der Begriff einer präzis gemessenen und dem Bedarfe des klinischen Versuches angepaßten Zeit ohne weiteres mit der Einführung des Kondensators in die Elektrodiagnostik berücksichtigt werden muß.

Zur Vervollständigung der Sache erwähne ich noch den treffenden Vergleich von Dubois, laut welchem die obgenannten Gefäße nicht mit Flüssigkeit, sondern mit kompressiblem Gas gefüllt sind. — Dann werden wir verstehen, warum ein Kondensator von gewisser Kapazität mit verschiedenen Stromquellen verbunden werden kann und auch verschiedene Elektrizitätsmengen annimmt, während ein Gefäß von der Kapazität: 1 Liter, unter allen Umständen nur einen Liter Wasser enthalten kann. — Ein Gefäß von 1 Liter wird aber mehr oder weniger Gas enthalten, wenn dasselbe unter verschiedenem Druck gehalten wird, und so kann auch ein Kondensator von der Kapazität eines Farads (der, wie wir soeben gesehen haben, bei einer Spannung von 1 Volt eine Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb enthält) bei größerer Spannung von 2 Elementen à 1 Volt, oder, wie wir uns ebenfalls ausdrücken, unter zweimal so großem Druck, eine zweimal so große Elektrizitätsmenge von 2 Coulombs repräsentieren.

Durch Einführung des Kondensators in die Klinik wird also dem Praktiker keine neue verwickelte Methode zu den älteren beigefügt; er hat bisher mit einem konstanten Strom gereizt, von gewisser Spannung und Intensität, wobei der Widerstand des Körpers von beträchtlichem Einfluß war; jetzt bekommt er in die Hand ein abgemessenes Gefäß, oder eine Reihe von solchen, die er mit gewünschter Menge füllen kann, entsprechend der Spannung der Elemente, welche er gebraucht, und reizt mit dieser abgemessenen Menge, in einer abgemessenen Zeit, die außerdem, wegen ihrer Kürze den Widerstand des Körpers glücklicherweise beinahe gar nicht beeinflußt.

Mit anderen Worten sagen wir, wenn wir gleich zu dem Begriff der betreffenden Einheiten übergehen wollen: der Praktiker hat bisher in der Elektrodiagnostik und Elektrotherapie einen Strom von normalen Elementen benutzt, deren jedes eine Spannung von 1 Volt hatte, wenn er durch

einen Widerstand von 1 Ohm[1]) fließend, eine Intensität von 1 Ampère[2]) erzeugte, welche direkt am Galvanometer abzulesen war. — Zu diesen Einheiten kommt nun in der Kondensatorlehre ein ganz einfacher Begriff eines geeichten Gefäßes hinzu, dessen Geräumigkeit oder Kapazität als 1 Farad bezeichnet wird, wenn dieselbe bei der obigen Spannungseinheit (1 Volt) eine Elektrizitätsmenge von 1 Coulomb aufnimmt, die eben einer Ausströmung der obgenannten Intensitätseinheit (1 Ampère) in 1 Sekunde entspricht. — Es ist nur scheinbar die ganze Formel verwickelt und es kommt also zu den Begriffen, welche seit der Pariser Konferenz der Elektriker, nicht nur in der Theorie, sondern in der Praxis eingeführt wurden, nur noch der Begriff der Zeit hinzu, welche wiederum von der Geräumigkeit des Kondensators abhängig ist. Wir hätten in der Praxis anstatt eines „beliebigen", den Körperwiderstand beeinflussenden Stromschlusses, eine in ihrem kurzen Verlaufe genau bekannte Entladung, die von denselben Verhältnissen abhängt und doch in der konstanten, fixen Periode des Körperwiderstandes zu wirken scheint, ohne denselben zu verändern.

Ich habe es für notwendig gehalten, durch obige Vergleiche die noch immer von der Mehrzahl der Praktiker nicht genug verstandene Frage zu popularisieren, obwohl sie schon in neueren Lehrbüchern von Mann, Cohn, Mader u. a. ausführlich besprochen wurde. — Wenn ich noch außerdem hinzufüge, daß in der Praxis nicht Farads und Coulombs gebraucht werden, sondern Milliontel derselben, die als Mikrofarads und Mikrocoulombs genannt werden, so glaube ich das Wichtigste über die betreffenden Einheiten gesagt zu haben. — Kondensatoren von bestimmter Kapazität beziehen wir direkt von elektrotechnischen Firmen mit betreffender Eichung; wollen wir dieselben billigerweise selbst eichen, so benutzen wir entweder eine physikalische Methode, laut welcher die Ausschläge des Galvanometers den betreffenden Mengen proportional sind, oder eine einfache Formel, laut welcher die Kapazität der Fläche der metallischen Belege und dem spezifischen Koëffizienten des Isolators proportional ist, im reziproken Verhältnis aber zu dem Abstand der Belege steht. Diese Formel erwähne ich hier deswegen, weil ich meine neuesten Kondensatoren aus Glimmerzylindern und Staniol in obiger Weise auf billigstem und präzisestem Wege ohne weiteres verfertigte und kalibrierte, und weil andererseits das Verhältnis der Kapazität zur Fläche und zum

[1]) 1 Ohm = Widerstand einer Quecksilbersäule von 1·06 m Länge und 1 qmm Querschnitt.

[2]) Eine Intensität, die bei der Elektrolyse des Wassers 114·6 ccm Wasserstoffgas und 57 ccm Sauerstoffgas erzeugt.

Abstande, im weiteren Verlauf der vorliegenden Abhandlung, für die klinischen Versuche von Belang sein wird. — Ich fasse nun zum Schluß das Obgesagte in Form einiger kurzen mathematischen Formeln:

1. E (Volt) = I (Ampère) × R (Ohm)
   Spannung = Intensität × Widerstand
2. Q (Coulomb) = I (Ampère) × T (Sekunde)
   Elektrizitätsmenge = Intensität × Zeit
3. Q (Coulomb) = C (Farad) × E (Volt)
   Elektrizitätsmenge = Kapazität × Spannung
4. En (Ergs) = $\frac{1}{2}$ E^2 (Volt) × C (Farad)

   Ladungsenergie = $\frac{1}{2}$ Spannung^2 × Kapazität
5. C (Farad) × $\frac{aS}{4\pi d}$, wobei S die Fläche bedeutet, d den Abstand, und a den Koëffizienten jedes Isolators.

Ich füge noch dazu gleich bei Gelegenheit eine sechste Formel der Entladungszeit:

6. $E_1 = E_0 e^{-\frac{t}{RC}}$ (Anfangsspannung = Spannung nach der Zeit t × Logarithmenbasis — $\frac{t}{RC}$).

Von dieser Formel braucht der Praktiker sich nur so Viel zu merken, daß die Entladungszeit verschiedener Kondensatoren dann gleich bleibt, wenn das obige Glied RC (Produkt des Widerstandes R und der Kapazität C) dasselbe ist. — Diese Tatsache, die ich schon im Jahre 1894 nachgeprüft habe, ist mit dem neuesten Gesetze von Cluzet verwandt, und hat in der Klinik, wie wir sehen werden, eine sehr große Bedeutung, nachdem dann die Entladungszeit unserer geeichten Gefäße dieselbe sein wird, wenn das Produkt von deren Geräumigkeit und vom Widerstand der durchflossenen Strecke dasselbe bleibt. — Es ist ganz ähnlich, als wenn ein großes Gefäß mit Wasser sich durch eine breite Röhre ohne Widerstand in derselben Zeit entleert, wie ein kleines Gefäß durch eine schmale Röhre mit betreffendem Widerstand. Diese Tatsache, welche hier in möglichst zugänglicher Form beschrieben wurde, ist nicht immer von allen Forschern berücksichtigt worden, indem dieselben einfach Kondensatoren verschiedener Kapazität mit verschiedener Spannung derart geladen haben, daß dieselbe Elektrizitätsmenge gesammelt wurde; dieselbe ergab jedoch nicht denselben Effekt. Man hatte eben vergessen, daß jeder Kondensator seine Entladungszeit hat, die eine wichtige Rolle, laut

obigem Vergleich, spielt. — Andererseits wurde von meinen Versuchen hie und da gefordert, daß, wenn die Methode ideal sein soll, jede künstliche Veränderung des Widerstandes nicht den Reizeffekt beeinflussen soll. — Eben darin ist die Methode in den Grenzen des bisherigen Fortschrittes ideal, daß sie, laut obigem Gesetze, gewisse Schwankungen des Widerstandes markiert, und andererseits in den Grenzen der praktischen Brauchbarkeit präzise Resultate liefert. — Darin wäre sie der Voltaïsation ähnlich, im Gegenteil zur üblichen Galvanisation, differiert aber durch andere Vorzüge und zwar durch die Möglichkeit gewisse pathologische Befunde, von denen später die Rede sein wird, ans Licht zu bringen. — Zuletzt ist auch die oberwähnte Abhängigkeit der Entladungszeit von dem Produkt aus Widerstand und Kapazität deswegen wichtig, weil sie in einem gewissen Verhältnis zu meinen letzten Versuchen über die Eigenschaften des Körpers steht, deren Priorität ich gewahrt habe, und laut welchen eine ähnliche enge Beziehung zwischen Kapazität und Widerstand der organischen Gewebe bestehen dürfte.

Somit hätten wir dem Leser nicht nur in zugänglicher Form die theoretischen Grundbegriffe der Kondensatorlehre geschildert, sondern auch bei Gelegenheit diesen trockenen Gegenstand durch verschiedene Abschweifungen aus dem klinischen Gebiete illustriert, wodurch wir nicht nur dem großen Thema eine gewisse Mannigfaltigkeit geben wollten, sondern auch an gewisse theoretische Gesetze direkt deren praktischen Wert anzuknüpfen beabsichtigten, wie z. B. denjenigen der Entladungszeit und des Produktes RC. Wir gehen nun zur Beschreibung der verschiedenen „praktischen“ Anwendungsformen des Kondensators über, und werden wiederum daran direkt die betreffenden klinischen Vorteile und Nachteile einer jeden anknüpfen, wobei wir überall die neuesten Ansichten über den Nervenbau berücksichtigen werden.

V.

Es wird öfters an mich die Frage gerichtet, welcher Kondensator wohl der geeigneteste für die Klinik ist? — Die Frage ist insofern natürlich, als beinahe ein jeder, der sich mit der Sache beschäftigte, andere Kondensatoren brauchte und empfahl; andererseits ist die Frage so schwierig, wie diejenige des Amateurphotographen, der wissen will, was für ein photographischer Apparat allen seinen Ansprüchen sofort entsprechen kann. — Dem Amateurphotographen sagt man, daß zu verschiedenen Zwecken wohl verschiedene Linsen und Kameras existieren; daß aber die Hauptsache ist, genau sich einzuüben und die betreffende Prozedur zu verstehen. Dem praktischen Arzt wird man wohl auf eine

ähnliche Frage aus der Kondensatorlehre am besten durch eine genaue Schilderung des Entladungsprozesses selbst und der Bedingungen der Leitung zu Hilfe kommen. Wenn wir einen Kondensator mit einer Stromquelle verbinden, so heißt es, daß wir denselben mit einer gewissen Elektrizitätsmenge laden; wenn wir nachher denselben Kondensator mit dem Körper in Verbindung setzen, so heißt es, daß die Ladung, welche der Kondensator vorher von der Stromquelle oder Batterie erhalten hat, in den Körper hineingeschickt wird, oder mit anderen Worten, daß wir den Kondensator entladen. — Da wir alle Momente, von welcher eine solche Ladung abhängig ist, kennen, und messen können, können wir auch dieselben variieren und die Abhängigkeit des Reizeffektes, also z. B. der Muskelzuckung von einem jeden derselben beobachten und beschreiben. — Dadurch ist aber leider die Frage noch nicht gelöst und wir können nicht daraus, daß z. B. zwei oder drei beliebige Spannungen, oder Intensitäten oder Kapazitäten dieselbe Zuckung am normalen und am kranken Menschen hervorrufen, schließen, es wäre diese Zuckung nur von einem dieser Faktoren abhängig. Auch vice-versa dürfen wir nicht in der Kritik Versuchsreihen zusammenstellen, wo aus verschiedenen differierenden Zahlen, welche dazu noch manchmal nur mit einem Kondensator ermittelt wurden, direkt Folgerungen über den Wert und die Konstanz der Methode geschlossen werden. — Wir geraten sonst zwischen dieselbe Scylla und Charybdis, wie unlängst während des Streites von Voltaïsten und Galvanisten. Einer hatte Reihen zusammengestellt, in welchen die Spannung dieselbe blieb, bei demselben Effekt, und die Intensität nicht, ein anderer direkt umgekehrt; und doch hatten beide Recht, wie ich es in praktischen Vorschlägen für den Kliniker im Jahre 1901 bewiesen und beschrieben hatte, was auch nachträglich auf dem Elektrologen-Kongreß in Bern als einziges Rettungsbrett für die praktische Elektrodiagnostik anerkannt wurde. — Wir müssen also, auch in der Kondensatorlehre, alle Bedingungen und Momente des Experimentes berücksichtigen, bevor wir auf den Wert derselben schließen oder eine Theorie derselben aufstellen wollen; andererseits wiederum wählen wir aber aus diesen Bedingungen diejenigen aus, welche für den Praktiker am Krankenbett notwendig und zugänglich sind, sowie wir in der klinischen Thermometrie z. B. aus theoretischem Standpunkte alle Bedingungen der Quecksilberelongation berücksichtigen müssen, aber am Krankenbett nur das winzige Instrument von 36°—40° brauchen, ohne uns um die Vorgänge zu kümmern, welche unter 0° oder über 200° vorkommen. — In diesem vollkommen einfachen Satze liegt auch die scheinbar schwierige Lösung der Frage, welche mir öfters schriftlich zugesandt und mündlich

vorgelegt wurde, nämlich die, was für einen Kondensator wir in der Klinik brauchen müssen. — Es wäre schon ziemlich leicht, auf Grund der im vorigen Kapitel geschilderten physikalischen Eigenschaften des Kondensators, die Frage zu beantworten, wenn nicht ein anderer Faktor dazu käme, und zwar derjenige, den die physikalischen Eigenschaften des Körpers darstellen. — Ich greife hier sofort in medias res und betone, daß die soeben geschilderte Verbindung des Stromes oder des Kondensators mit dem Körper nicht als einfaches „Durchfließen einer elektrischen Kraft" durch einen anorganischen oder organischen Leiter anzusehen ist, sondern als komplizierter Vorgang, der von dem Bau des Körpers selbst und besonders der Nerven abhängig ist.

Diese Nerven sind nämlich nicht von isomorphen Schnüren gebildet, sondern von konzentrischen Schichten, bei welchem von einem „Inhalt", einer „Hüllenflüssigkeit" und einer „Grenzschichte" im Sinne der neuesten Theorien die Rede sein muß. — Bevor wir also den Reizvorgang der Kondensatorentladung besprechen, müssen wir im vorliegenden Kapitel uns über die Verhältnisse der Strombahn selbst unterrichten lassen, in derselben Weise, wie wir soeben die physikalischen Eigenschaften des reizenden Kondensators kennen gelernt haben. Welcher Erregungstheorie wir uns auch anschließen wollen, sei es der direkter oder indirekter elektrischer Strömung oder dem wellenförmigen Fortschreiten einer verstärkten Dissimilation und einer restitutorischen Assimilation, so müssen wir doch von Polarisationsänderungen oder Konzentrationsänderungen an den Grenzschichten der einzelnen Bestandteile des Nerven reden, und den modernen Zustand der Lehre über den Bau der spezifisch fibrillär differenzierten Gebilde berücksichtigen. — Mit anderen Worten gesagt, können wir nicht, sogar in der alltäglichen Praxis, einen Nerv so in den Kreis irgend einer elektrischen Reizvorrichtung einschalten, wie man es mit einem einfachen Draht tut, und wie wir es zu tun voraussetzten, indem wir nur die Kraft des Stromes und den Widerstand der Strombahn berücksichtigten. — Diese Behauptung ist ebenso für die bisherigen elektrodiagnostischen Methoden von Belang, also für Galvanisation und Faradisation, als auch und sogar noch viel mehr für die heute zu besprechende Entladung eines Kondensators, da der Nerv und der Muskel eben auch kondensatorische Wirkungen und Eigenschaften besitzt, die bisher hie und da in der Literatur nur flüchtig berücksichtigt waren, wie wir es in weiterer Folge sehen werden. — An diese wichtige Tatsache knüpft sich noch eine andere, und zwar die, daß ein Kondensator, wie wir es in den vorigen Kapiteln geschildert haben, kein Leiter ist, sondern durch seine Isolationsschichten

dem Strom großen Widerstand leistet, und denselben eigentlich nicht durchläßt. — Ein Strom, der mit einem Kondensator in Verbindung steht, ist kein geschlossener Strom, und kann doch reizen, sowie auch es seit Jahren bekannt ist, daß ein konstanter Strom während seiner Öffnung auch reizt, obwohl „de facto“ in diesem Fall kein Strom aus der äußeren Welt in unsere Gewebe fließt. — Die letzte Tatsache wurde bekanntlich dadurch erklärt, daß während der „Öffnung“ nicht der auswendige Strom, sondern ein inwendiger, eigenartiger „Polarisationsstrom“ reizen soll; die erste Tatsache werden wir wiederum hier im Laufe des Textes berücksichtigen. — Bevor wir jedoch dazu kommen, müssen wir im großen Ganzen die Frage beantworten:

> „Was für einen Leiter stellen eigentlich die Gewebe dar, und in welchem Verhältnisse stehen die physikalischen Eigenschaften desselben zu einander einerseits, und anderseits zu den bisherigen Begriffen der Elektromedizin und den bekannten Vorgängen der Erregung?“

Ohne Berücksichtigung dieser Verhältnisse müßte der Arzt immer im Zweifel bleiben, was er eigentlich reizt, und wir müßten auch hier, im Laufe des weiteren Textes, immer zur Frage zurückkehren, was eigentlich in der vom Strom durchflossenen Strecke geschieht und wie dieselbe aussieht? Das zu besprechende Thema würde wiederum gewissermaßen in einen allgemeinen und einen speziellen Teil zerfallen; im ersten Teil werden wir nur die allgemeinen dielektrischen Eigenschaften des Körpers, ohne numerische Werte, und den Reizungsvorgang, mit Berücksichtigung dieser Eigenschaften im allgemeinen besprechen und bildlich erläutern; im zweiten Teile, der den Inhalt der nächsten Kapitel bilden wird, werden wir schon über Einzelheiten verschiedener klinischer Erfahrungen und über elektrodiagnostische Begriffe und Versuchsbedingungen sprechen können, nachdem wir uns über die Eigenschaften des reizenden Körpers und des gereizten Körpers geeinigt haben.

Die „kondensatorischen Eigenschaften“ der fibrillären Gewebe, d. h. die Eigenschaft, elektrische Kräfte aufzubewahren, wurden von einigen Autoren erwähnt, jedoch, um den Ausdruck einiger Verfasser zu brauchen, „nicht numerisch verwertet“. — Es hatte schon im Jahre 1899 Dubois (40) betont, daß unsere Kenntnisse über allfällige Selbstinduktion und Kapazität des Stromkreises unvollständig sind und daß die Vernachlässigung dieser zwei wichtigen Faktoren zu manchen irrtümlichen Schlüssen geführt hat. — Der menschliche Körper ist, nach Dubois, kein Leiter gewöhnlicher Art, sondern „ein Leiter 3. Klasse, ein Kondensator, dessen

Kapazität, unter den Bedingungen der Versuche, auf 0·165 Micro-Farads festgestellt wurde.“ — In der Periode der „Konstanz“ bildet der Körper, nach Dubois, einen Elektrolyt von großem Widerstand, dessen Wert, wie bekannt, von 500000 Ohms auf 500 Ohms unter Dauerwirkung starker Ströme gebracht werden kann; in der Periode des variablen Zustandes“, welche eben für die Praktiker von Belang ist, d. h. im Momente selbst, wo der Strom geschlossen wird und zur finalen Stromstärke ansteigt, muß man mit einem kleinen konstanten Widerstand (400—900 Ohms) und mit einer Kapazität, welche den Widerstand vermindert (!), resp. aufhebt (!) rechnen. — Die Aufstellung jeder Gleichung als mathematischen Ausdruck eines Erregungsgesetzes, hielt auch Dubois für verfrüht, so lange wir über die obgenannten Verhältnisse der Strombahn nicht unterrichtet sind.

Auf die obgenannte Arbeit von Dubois antwortete nun Hoorweg im J. 1899 (April) (57), daß „nur dann tüchtige Fortschritte auf dem Gebiete der Elektromedizin zu erwarten sind, wenn man eben ein allgemein anerkanntes Grundgesetz besitzt, an welchem man alle Erscheinungen prüfen kann.“ — Indem auch Hoorweg die Grundsätze seines schönen Gesetzes erläuterte und sogar auch scheinbar polemische Tatsachen, die von Dubois beschrieben waren, als kräftige Stütze für die Richtigkeit desselben betrachtete, blieb inzwischen die Frage von der Kapazität quasi auf einem zweiten Plan, und es wurde nur so viel vom Verfasser erwähnt, daß Dubois die Widerstandkonstanz durch eine entgegengesetzte kondensatorische Wirkung des Körpers erklärt, während eigentlich die Abwesenheit der Polarisation und der Kataphorese der größte Faktor ist.

Trotzdem leugnete Hoorweg die kondensatorischen Wirkungen des Körpers nicht und betonte sogar, daß er selbst noch früher auf ganz anderen Grundlagen dieselben demonstriert hatte. — Ich habe alle betreffenden Arbeiten von Hoorweg (47—55) genau studiert und verglichen und muß auch hier sofort erwähnen, daß die Vergleiche desselben mit einem Rheostat von Engelmann, oder einem in einer Klemme lose sitzenden Draht, oder mit einer mit Papier verschlossenen flüssigen Elektrode, einen jeden überzeugen müssen (52, 53). — Die kondensatorischen Eigenschaften des Körpers sollen schon darin bewiesen sein, daß ein Funke des menschlichen Körpers viel knisternder und stärker, als derjenige einer Influenzmaschine ist, oder darin, daß ein mit Tesla-Strom geladener Körper eine Gasflamme anzünden kann. — Es ist zuletzt, laut Hoorweg, der Körper einem Kondensator ähnlich, der gleichzeitig Elektrizität anhäuft und fortleitet, also einem Kabel oder einem Zersetzungsapparate. — Zu

allen diesen, wirklich anschaulichen und höchst wertvollen Vergleichen, fügt jedoch der Verfasser hinzu, der „numerische Wert" dieser Kapazität wäre nicht so wichtig und ließe sich mit Elektroden von 3 ccm auf 0·001 Micro-Farads ermitteln, während Dubois dieselbe auf 0·165 festgestellt hatte (54).

Diesen numerischen Wert der Körperkapazität finden wir nun hie und da in der späteren Literatur erwähnt, und zwar in verschiedenen Größen, wie diejenige von Bordier (9) (0,0025) oder Salomonson (68) und G. de Metz (61) (0,0011). — Es äußerte auch darüber seine Meinung Dubois am letzten Berner Kongreß der Elektrologen (41) (Bericht S. 71), indem er ganz kurz und bündig sagte: „es ist der alte Streit der Autoren, die den Widerstand messen wollten, und deren ein Jeder wo anders die Elektroden anlegte". Es sprach auch darüber in kurzen Worten Salomonson, indem er den Unterschied zwischen der elektrostatischen Kapazität des Körpers bei Hochfrequenzströmen und der Polarisationskapazität, als Dimensionseigenschaft des Körpers selbst, zu betonen versuchte. — Zuletzt kann ich nicht den Artikel von Kurella (59) über „Fundamentalfragen der Elektrotherapie" verschweigen, in welchem ausdrücklich betont wurde, daß der Körper nicht als Leiter fungiert, sondern daß in demselben, von einer Elektrode zur anderen, eine dielektrische Verschiebung geschieht, eine Bewegung von „Anionen" und „Kationen". — Diese Verschiebung soll nun im menschlichen Körper einen komplizierteren Vorgang bilden, als in einer einfachen Tafel, es müssen aber die bisher entdeckten Erregungsvorgänge mit der Art dieser elektrischen Verschiebung in Zusammenhang stehen. — Sind nun, laut Kurella, die erregenden Wirkungen auf Kondensatoren-Entladung und nicht auf ein Stromschema zurückzuführen, oder kann man die kondensatorischen Körpereigenschaften, laut Hoorweg, beseitigen, so dürfen wir doch dieselben hier berücksichtigen. Um nicht mißverstanden zu werden, wie es z. B. in der „Energiefrage" geschah, will ich gleich an Ort und Stelle betonen, daß es Mittel gibt oder wenigstens geben soll, diesen numerischen Wert der Kapazität möglichst unberücksichtigt zu lassen. — In seiner interessanten Arbeit aus 1899 (Archives Teyler II) hatte auch Hoorweg durch entsprechende Einschaltung von großen induktionsfreien Rheostaten (Engelmann) und durch Berechnung von zwei Koëffizienten aus dem Vergleich einiger Kondensatorentladungen und einer Stromschließung, die Körperkapazität (xm F) eliminiert, wobei nur die Intensität, Polspannung, und Kapazität des Kondensators in Rechnung kamen (54). — Wir werden über die Möglichkeit dieser „Eliminierung" im Kap. X sprechen und bemerken hier nur, daß aus praktischen Gründen die Tatsache der Körperkapazität

dem Kliniziston nicht verheimlicht werden soll, damit er sich überzeugen kann, wie das Verhältnis von Selbstinduktion und Widerstand die Messungsart des Stromes in Spannungs- oder Intensitätseinheiten beeinflußt, wie Kapazität, Widerstand und spezifischer Widerstand in ihrem reziproken Verhältnisse überhaupt den Erfolg verschiedener Versuche verändern können, wie kompliziert endlich die Vorgänge sind, die wir öfters kurzweg mit einem oberflächlichen Ausdrucke beschreiben oder sogar umgehen. — Es ist schon aus einem einfachen Versuche mit verschiedenen Elektroden ersichtlich, deren Entfernung für Widerstandsmessungen irrelevant ist, während sie eben bei Kapazitätsversuchen eine Rolle spielt, daß dieses „reziproke" Verhältnis von Belang sein dürfte. — Wir werden auch in weiterer Folge sehen, wie interessant das Verhältnis zwischen den Begriffen von Kapazität, Dichte, Widerstand und Intensität ist, sowie die Abhängigkeit des „numerischen" Wertes von den Versuchsbedingungen. Den eminenten Wert bisheriger Arbeiten anderer Forscher betonend, fügen wir aber noch hinzu, daß laut unseren Versuchen:

1. alle differenten Zahlen verschiedener Autoren sich durch differente Versuchsbedingungen erläutern lassen;
2. eine Brücke zwischen allen elektrodiagnostischen Begriffen sich bauen läßt;
3. der Wert der Kapazität, besonders bei Reizversuchen durch „Summen" und „Differenzen" von Kapazitäten, aus welchen auch der betreffende Wert verschiedener Entladungsmethoden ersichtlich ist, eine wichtige Rolle spielt;
4. endlich, laut meiner Überzeugung, die Kapazität des Körpers sich zwar bei gewissen Methoden eliminieren läßt, jedoch beim Vergleich verschiedener Versuche berücksichtigt werden muß, insbesondere, wenn dieselbe nicht sehr von der Kapazität des reizenden Kondensators entfernt ist(!) und sogar in Zusammenhang mit derselben stehen dürfte. —

Nachdem nun die Kapazität des Körpers eine Tatsache ist, muß sie auch in praxi berücksichtigt werden. — Wir wollen den Reizvorgang mit folgendem physikalischen Bilde erläutern, daß ein Strom, der durch einen Körper fließt, teilweise geleitet wird, teilweise dessen Kapazität ladet, je nachdem durch Jonisierung dieses organischen Kondensators langsam ein Isolationsverlust stattfindet und aus einem kleinen konstanten Widerstande mit beachtenswerter Kapazität ein großer Widerstand mit kleinem Wert der kondensatorischen Eigenschaften entsteht. —

Es ist also der Strom gleich am Anfang nicht geschlossen, oder wenigstens nicht vollkommen geschlossen, obwohl er schon reizt und obwohl wir gewöhnt sind die Stärke der Reizursache sofort nach Stromschluß zu messen und zu vergleichen; auch nach der Stromöffnung, die auch reizt, obwohl kein Strom eigentlich vorhanden ist, geschehen ähnliche Vorgänge, und zwar vollkommen reziproke. — Während der Zeit, die man jetzt öfters als Periode des „variablen Zustandes" der Schließung bezeichnet, ist die Stromstärke keine konstante und steigt von Null bis zu einem gewissen Werte, was schon an und für sich einer langsamen Abnahme des Widerstandes entsprechen dürfte und, laut Obigem, einer reziproken Veränderung der Kapazität in kleinen Grenzen. — Sobald der Strom seine finale Intensität erreicht hat, die laut einigen Autoren permanent bleiben soll, und dann wiederum auf Null zurückfällt, gewinnt wiederum die kondensatorische. Eigenschaft des Leiters sukzessive alle Werte einer Differentialkurve. —

Wollen wir, zur Erläuterung der Sache, zum obgenannten Beispiel des Wasserlaufens zurückkehren, in welchem die Wassermenge und Wasserhöhe der Intensität und der Spannung entsprachen, und der Widerstand der durchflossenen Strecke (z. B. einer Röhre) dem Widerstand eines elektrischen Leiters, so sehen wir ein, daß in unserem Fall das Beispiel noch mit einem Vergleich der Kapazität ergänzt werden muß. — Es ist nun bekannt, daß die Wasserteilchen sich sofort in Bewegung setzen, sobald eine Schleuse geöffnet wird oder ein Hahn des Wassergefäßes gedreht. — Es vergeht aber eine Zeit, bis sich in dem Rohr der Strom geregelt hat und mit konstanter Geschwindigkeit stattfindet. — So wächst auch die Stromstärke, plötzlich, aber doch in einem Zeitraum. — Fügen wir noch zum Beispiel hinzu, daß die Röhre nicht offen ist, sondern teilweise durch eine zweite Schleuse oder eine Klappe verschlossen ist, so wird zuerst die „Kapazität" oder die „Räumlichkeit" der Röhre eine Rolle spielen, bis sich dieselbe gefüllt hat, und bis die Klappe allmählich beseitigt wird; erst dann fließt die Flüssigkeit mit voller und konstanter Kraft, die nur von der Stärke des Wasserstromes und dem Widerstande der Röhre abhängig ist. — Die Klappe ist aber so eingerichtet, daß sie, auf Grund ihrer Elastizität, wieder zu ihrer früheren Lage zurückkehren kann, sobald Wasser zu fließen aufhört; es stellt dann auch die Röhre keinen Widerstand dar, nur wiederum ein Gefäß von bestimmter „Geräumigkeit" oder „Kapazität". Das Beispiel ist sehr grob und nur approximativ; übrigens wird auch von Physikern die elektrische Bewegung in einem Kondensator und das sogenannte elektrische „stress" bildlich von einer eigenartigen „Elastizität des Dielektrikums" abhängig gemacht. —

Fließt nun durch die fibrillären Gebilde unseres Körpers, nicht ein konstanter Strom, wie wir bisher gesehen haben, sondern eine Kondensator-Entladung, so hätten wir im obigen Beispiel so viel zu verändern, daß eigentlich ein Kondensator sich in einen zweiten Kondensator entladet, oder eine Flasche sich in eine andere Flasche entleert. — Es muß also zuerst sich (die Kapazität) der Raum der zweiten Flasche bis zur Ausflußöffnung ausfüllen und die Klappe unseres Beispieles geöffnet werden, bis die zweite Flasche nur quasi ein Leitungsrohr bildet, durch welches Wasser in die Außenwelt strömt, und dessen Widerstand ausschließlich in Betracht kommt, während die Kapazität eine minderwertige Rolle spielt. — Es könnte auch der Nerv, vielleicht mit einem System von konzentrischen Röhren verglichen werden, die teilweise Flüssigkeit behalten, teilweise leiten; dies sind aber nur grobe Vergleiche, deren Zweck war, die Analogie „biologischer“ und „physikalischer“ Vorgänge zu erklären, obwohl dieselben nicht identisch sind. —

In diesem Bilde liegt auch die Beantwortung der Hauptfragen der nächsten Kapitel. Unter allen Verbindungsarten des Kondensators mit dem Körper und unter allen Methoden, die wir in der Literatur finden, werden wir für praktische Zwecke diejenige wählen, welche eben den praktischen Bedingungen des soeben bildlich illustrierten Vorganges entspricht. — Anderseits werden wir, bei dem Vergleich verschiedener Resultate unserer Versuche und verschiedener Arbeiten anderer Autoren nie aus dem Auge lassen können, was über die Eigenschaften unseres Körpers, als Leiter, gesagt und mit groben Vergleichen bildlich erläutert wurde. —

Nach diesem etwas längeren Kapitel, dessen Dimensionen nur dadurch verursacht wurden, daß die darin besprochenen Fragen teils neu, teils wenig bekannt sind, gehen wir über zur speziellen Frage der Kapazitätswerte, und zum Vergleich der klinischen Resultate mit den bisherigen Begriffen der praktischen Elektromedizin.

VI.

Nachdem ich in der Literatur, wie wir es im vorigen Kapitel gesehen haben, spärliche und differente Angaben über Körperkapazität gefunden hatte, habe ich seit einiger Zeit in allen meinen Versuchen, außer Spannung, Intensität, Widerstand und Elektrizitätsmenge, noch den Faktor der Körperkapazität berücksichtigt und in — einer Prioritätsnotiz, die ich darüber der Wiener Akademie der Wissenschaften (106) vorgelegt hatte, betont, daß:

A. die Kapazität des Körpers der Größe der Elektroden und dem spezifischen dielektrischen Koëffizienten des Körpers proportional, dem Abstande der Belege aber reziprok ist;

B. daß, laut A, die Kapazität eines dünnen Gewebes oder Nerven größer, als diejenige eines dicken ist, und auch deswegen, caeteris paribus bei verschiedenen isolierten Nerven verschieden ist,

C. daß die Kapazität zwischen großen, nassen Elektroden größer ist, als zwischen kleinen, was, laut meiner Ansicht, in Zusammenhang mit dem bisherigen Begriff der Dichte steht und mit der bisherigen Erfahrung, daß der Querschnitt der Elektroden desto größer gewählt werden muß, je länger die vom Strom zu durchlaufende Strecke ist;

D. daß die Kapazität des Körpers in reziprokem Verhältnisse zum Widerstande desselben steht, was schon in praxi daraus ersichtlich wäre, daß die Entfernung der Elektroden eine Rolle bei Kapazitätsmessungen spielt, während sie eben bei Widerstandsmessungen des menschlichen Körpers bekanntlich irrelevant ist;

E. daß, caeteris paribus, die Kapazität nur von der spezifischen Dielektrizitätskonstante der Gewebe abhängig ist, nachdem sie unter sonst gleichen Verhältnissen bei gesunden und kranken Individuen schwankt, wobei das sub C erwähnte, und zum erstenmal von mir an Kranken mit pathologischem (Basedow, Sclerodermie usw.) oder künstlich verändertem Widerstande bewiesene „reziproke Verhältnis" immer zu berücksichtigen ist. —

In allen meinen betreffenden Versuchen habe ich alle differenten Zahlen verschiedener Autoren (0·001, 0·002, 0·165) je nach den Versuchsbedingungen finden können so wie seinerzeit in meiner Arbeit „über Voltaïsation" (94) Zahlenreihen reproduziert wurden, welche sowohl die Voltaïsation, als auch die Galvanisation erläuterten. — Ich habe aber nicht nur das Verhältnis dieser Zahlen zu den Versuchsbedingungen der klinischen Untersuchung sondern den Zusammenhang derselben mit solchen Begriffen, wie Widerstand, Dichte, Fläche, Entfernung, und sogar pathologischen Koëffizient der Gewebe zu erforschen gesucht. — Es war für mich z. B. auffallend, daß in der physikalischen Formel der Kapazität $C = \frac{a\,q}{4\pi d}$ (108 S. 476), wo C die Kapazität, q den Querschnitt, d den Abstand und a den spezifischen Koëffizienten bedeuten, ein ähnliches reziprokes Verhältnis zwischen Länge und Querschnitt, wie im Begriffe der Dichte sind. — Es ist nämlich jedem Arzt bekannt,

daß, laut bisherigen Begriffen, bei kleinem Querschnitt die „Stromfäden“, aus denen wir uns den Strom bestehend denken mehr zusammengedrängt sind, „dichter“ auseinander liegen. — Je kleiner der Elektrodenquerschnitt, desto größer ist auch die Stromdichte und wir drücken dieses Verhältnis in folgendem Gesetze aus: „Je länger die vom Strom zu durchlaufende Strecke ist, also der Abstand der Elektroden, desto größer muß im allgemeinen der Querschnitt der Elektroden gewählt werden, wenn überhaupt die Dichte dieselbe bleibt“. — Es ist nun auch im Begriffe der Kapazität dieses Verhältnis ersichtlich, nachdem l zu q in reziprokem Verhältnisse stehen und ein dünner organischer Körper zwischen breiten Elektroden denselben Wert der Kapazität repräsentieren kann, wie ein dicker zwischen Elektroden von kleinem Querschnitt. Da nun die Erfahrung eine solche Forderung notwendig gemacht hat, man müßte den Begriff der „Stromdichte“ zu diagnostischen und insbesondere unbedingt zu therapeutischen Zwecken beachten, und nachdem sogar „Durchschnitts-Stromdichten“ ermittelt wurden, welche das „optimale“ Verhältnis des durch eine gewisse Länge fließenden Stromes zum Querschnitt der Elektroden numerisch bezeichnen, so wäre es vielleicht angebracht, den von denselben Verhältnissen abhängigen Kapazitätsschwankungen verschiedener Körperteile eine größere Rolle zuzuerkennen, wenigstens diejenige, welche bisher anderen Begriffen zufiel. — Dies ist nur eine Hypothese, aber der tonnenartige Verlauf von geraden und krummen Linien, die als Stromfäden die Elektroden verbinden sollen, ist auch nur eine bildliche Vorstellung einer Hypothese, in welcher bisher die Begründung der Dichte lag und welche übrigens gar nicht mit der vorigen in Widerspruch steht. —

Es gibt aber noch eine andere Formel der Dichte ($D = \frac{J}{q}$) (109 S. 142) welche uns sagt, daß die Stromstärke (s) mit Vergrößerung der Stromdichte (D) und mit Verkleinerung des Elektrodenquerschnittes (q) wächst. — Für verschiedene Applikationen ist das numerische Verhältnis verschiedener Durchschnitts-Dichten auch verschieden und schwankt zwischen $^1/_{18}$—$^1/_{50}$. — Bei dem Ischiadicus sollen z. B. beide rechteckige Elektroden einen Querschnitt von 72 ccm haben, wenn die Stromstärke von 4 Milliampères dem Verhältnis $^4/_{72} = ^1/_{18}$ entsprechen soll. — Die Gehirnnerven erfordern z. B. eine geringere Stromdichte, wie auch die Nacken- und Dorsalgegend ($^1/_{24}$—$^1/_{30}$); der Sympathicus auf der Strecke vom jugulum zum ganglion sympathicum supremum nur $^1/_{14}$ usw. — Mit anderen Worten gesagt, wird für verschiedene Applikationsstellen die optimale Intensität berechnet, wenn wir den Elektrodenquerschnitt durch eine Zahl dividieren, die je nach der Applikationsstelle der Elek-

troden zwischen 18 und 50 schwankt ($J = \frac{q}{18}$ bis $\frac{q}{50}$). Da nun die Körperkapazität C ($= \frac{a\,q}{4\,\pi\,l} = \frac{q}{18}$ bis $\frac{q}{50}$) auch derartig ermittelt werden kann, daß wir den Querschnitt der Elektroden oder Belege durch eine Zahl dividieren, welche je nach der Applikationsstelle der Elektroden zwischen ähnlichen Grenzen (18—50) schwanken kann, so wäre daraus ein gewisser Zusammenhang der Begriffe von Kapazität und Dichte ersichtlich. — Wir können kurzweg sagen, daß, bei demselben Querschnitt der Elektrode und demselben Koëffizienten der dielektrischen Eigenschaften des Körpers, die „optimale“ Intensität und die Kapazität nur von ähnlichen Schwankungen des Elektrodenabstandes abhängig sind, oder, vice-versa, bei demselben Elektrodenabstande nur von ähnlichen Schwankungen des Querschnittes derselben.

Wenn wir aber anderweitig die allgemeinen Gesetze des Widerstandes berücksichtigen wollen, so wissen wir, daß vice versa derselbe mit der Länge (l) des Leiters wächst und mit der Vergrößerung des Querschnittes (q) abnimmt. — Nachdem, laut bisherigen Erörterungen, sowohl die Kapazität als die Intensität sich umgekehrt verhielten und zwar dem Querschnitt parallel und der Länge reziprok waren, so ist schon daraus das reziproke Verhalten von Widerstand einerseits — und Kapazität sowie Intensität andererseits, ersichtlich. — Die Intensität wäre ein Begriff, der in reziproker Richtung zum Widerstande sich ändert, in paralleler zur Kapazität; der Widerstand und die Kapazität verhielten sich auch derartig wie die Intensität und der Widerstand. — Ich drücke das einfach mit folgenden Zeichen aus: $J < C <$, $J < R >$, $C < R >$. — Das parallele Verhalten von Intensität und Kapazität ($J < C <$) wurde soeben durch Vergleich der Formeln von Kapazität und Dichte ($C = \frac{a}{4\pi}\,\frac{q}{18}$ und $J = \frac{q}{18}$) erläutert; das reziproke Verhalten von Intensität und Widerstand ($J < R >$) ist schon aus dem alten Ohmschen Gesetze und den Elementarbegriffen der Elektrodiagnostik ersichtlich ($J = \frac{E}{R}$, also $J < R >$) und es bliebe hier nur eine Formel auszusuchen, welche auf das reziproke Verhältnis von Widerstand und Kapazität deutet. — Vielleicht könnte dem die Formel dienen, laut welcher der Widerstand einem Quotient von Zeit und Länge oder vom spezifischen Widerstand (r) und Kapazität (C) gleicht. — (110, S. 729) $R = \frac{T}{L} = \frac{r}{C}$ oder $r = RC$. Ist nun, laut

obiger Formel, der spezifische Widerstand (r) irgend eines Leiters eine approximativ konstante Zahl zwischen gewissen Grenzen desselben Versuches, so muß jede positive Veränderung des Gesamtwiderstandes (R) einer entgegengesetzten Veränderung der Kapazität (C) entsprechen, damit der Produkt RC derselbe bleibt. — Übrigens wissen wir auch aus der Technik, daß ein Kabel, den wir soeben mit dem Bau eines Nerven verglichen haben, z. B. bei einer Betriebsspannung von 700 Volts, eine Kapazität von 0·3 Mikrofarads per Kilometer bis 0·9 haben kann, je nachdem der reziproke Widerstand von 370 Megohms auf zirka 100 Megohms per Kilometer fällt. — Ich erwähne hier vorläufig nur einen einzigen Fall eines dreifach verseilten Hochspannungskabels als Beispiel, obwohl ich an mehreren anderen Beispielen das reziproke Verhältnis des Widerstandes ($<$) und der Kapazität ($>$) erläutern könnte. — Es muß uns aber gegenwärtig bleiben, daß dieser „spezifische Widerstand“, laut denselben physikalischen Gesetzen auch von dem Gesamtwiderstand, der Länge und dem Querschnitt des Leiters abhängig ist ($r = \frac{R\,S}{l}$). — Es müßte sodann für dieselbe Länge und denselben Querschnitt die Zahl immer vollkommen konstant bleiben, während uns der Kabelversuch belehrt, daß das obgenannte Produkt von Widerstand und Kapazität zwar in gewissen Grenzen, die uns interessieren, ziemlich konstant ist, jedoch gewisse Korrekturen erfordert, deren praktischen Wert ich bei Gelegenheit des Vergleiches von Körperkapazität und Optimalkapazität des reizenden Kondensators besprechen werde. — Obwohl also die Kapazität nicht vollkommen dem Widerstand reziprok ist, variiert sie doch in reziproker Richtung, und ich wollte nur in einer bisher nicht betonten Weise, gewissermaßen eine Brücke zwischen Kapazität des Körpers und allgemeinem Widerstand desselben bauen, sowie zwischen den physikalischen Formeln der Kapazität ($C = \frac{a\,q}{4\,\pi\,l}$), der Dichte ($D = \frac{J}{q}$) und des spezifischen Widerstandes ($R = \frac{E}{J} = \frac{T}{L}$) und werde darauf bei der praktischen Besprechung der klinischen Versuche zurückkommen. — Meine Versuche und Formeln sind also keineswegs „polemisch“, verbinden bekannte Tatsachen mit eigenen Erörterungen und wollen neben den schönen Formeln anderer Autoren stehend, als Ergänzung der Theorie durch langjährige klinische Erfahrung dem wissenschaftlichen Fortschritte dienen.

Nachdem nun die kondensatorischen Eigenschaften des Körpers eine von mehreren Autoren betonte und von mir näher untersuchte Tatsache

sind, können wir dieselbe in weiterer Folge ruhig berücksichtigen. — Bevor ich zu den betreffenden Versuchen komme, will ich noch aus obigen Vorgängen, zu besserer Verständigung, nur einen näher besprechen, und zwar denjenigen der Polarisation. — Bekanntlich wird manchmal gesagt, daß gewisse Erscheinungen ausschließlich von der „Polarisation" oder von dem „Polarisationsmangel" abhängig sind; es wurde sogar geäußert, daß nicht die kondensatorische Wirkung des Körpers, sondern der Polarisationsmangel als Ursache verschiedener Veränderungen anzusehen ist. — Ich finde eben, daß der Polarisationsstrom, unter welchem wir bekanntlich einen nach Stromesöffnung entstehenden zweiten Strom von entgegengesetzter Richtung verstehen, gar nicht in Widerspruch mit kondensatorischen Eigenschaften steht. — Wir sprechen ja von „Polarisation eines Dielektrikums", wir wissen, daß in jedem Kondensator die konstante Spannung durch entgegengesetzte Strömung beseitigt wird, wir messen sogar die große Kapazität von polarisierten Elektroden, wobei zwei Zoll Platinblech bei einer Spannung von $^1/_{50}$ eines Daniell-Elementes eine Kapazität von 175(!) Mikro-Farads repräsentieren (Kapazität eines Kondensators von 80000000 Quadratzoll-Fläche und $^1/_8$ Zoll Belegabstand) (110). — Ich bin der Ansicht, daß jeder reizende Strom, nach seinem Schluß, die Kapazität des Körpers ladet, und daß, nach Öffnung des Stromes, der in den Geweben entstehende Polarisationsstrom dieselbe Kapazität ladet und dem Reiz einer formellen Kondensatorentladung ähnlich ist, obwohl sonst der Strom an und für sich geöffnet zu sein scheint und nicht reizen dürfte, da er überhaupt nicht existiert. — Ich finde die Sache zu wichtig, als daß ich sie nicht näher besprechen sollte, um destomehr, als überhaupt die Methoden von Kapazitätsmessungen mit denjenigen der Polarisationsmessungen soviel ähnliches haben, und der Praktiker überhaupt einen Begriff haben muß, daß nicht nur derjenige Strom reizt, den er von seiner Batterie zuleitet, sondern auch der interne Strom der körperlichen Gewebe. — Ich sage, daß „die Methoden von Kapazitätsmessungen und von Polarisationsmessungen so ähnlich sind", nur auf Grund der Tatsache, daß wir in kürzester Weise dadurch eine gewisse unbekannte Kapazität numerisch ausdrücken können, daß wir den betreffenden Ausschlag des Galvanometers berücksichtigen und mit dem durch eine bekannte Kapazität verursachten Ausschlag vergleichen; ebenso wird der Polarisationsstrom der Gewebe dadurch bewiesen, daß wir dieselben alternativ mit einer Batterie und mit einem Galvanometer verbinden, und uns aus dem Ausschlage der Nadel überzeugen können, wie jeder Öffnungszuckung ein interner Strom der Gewebe entspricht. — Diese alternativen Verbindungen von Gewebe mit Batterie und Galvanometer

sind in beiden Fällen so ähnlich, daß man nachfragen könnte, was wir eigentlich messen, Kapazität oder Polarisation. — Ich habe aber schon in den vorliegenden Kapiteln betont, daß eigentlich diese Begriffe insofern gar nicht polemisch sein dürften, als überhaupt jeder Kondensator polarisiert. — Zur besseren Erläuterung der Sache will ich einen solchen Versuch im ganzen Verlauf beschreiben.

Wenn wir ein Muskelnervpräparat oder zwei Stellen unserer Haut vermittelst betreffender Elektroden und eines Kommutators mit einer Batterie in Verbindung setzen, so rufen wir eine Schließungszuckung hervor. — Wenn wir den Kommutator öffnen, sodaß kein äußerer Strom fließt, erhalten wir doch eine Öffnungszuckung, welche bekanntlich von einem inwendigen Polarisationsstrom abhängig ist. — Ist der Kommutator so eingerichtet, daß wir, bei Umlegung desselben, sofort den Nerv mit einem Galvanometer verbinden, so können wir mit Tigerstedt (78) und Grützner (44) diesen Polarisationsstrom durch einen Nadelausschlag beweisen, oder sogar mit Hoorweg (54) den Parallelismus zwischen Größe des Ausschlages und der Öffnungszuckung ermitteln. — Eine schwache Öffnungszuckung entspricht z. B., laut Hoorweg, einem Ausschlag von 5 Skalateilen, während eine mittlere und eine starke Ausschläge von 10 und 21 Skalateilen bewirken. — Es wäre zwar zu bezweifeln, ob überhaupt ein solcher interner Polarisationsstrom, der unter dem Einfluß des reizenden externen Stromes entsteht, noch reizen kann, sobald der primäre Strom durch Öffnung des Schlüssels unterbrochen wurde und eigentlich keine geschlossene Strombahn mehr existiert. — Es hat jedoch wiederum Hoorweg (54) an Versuchen mit „Kernleitern“ bewiesen, und zwar an solchen, wie sie von Hermann, Mateucci und Boruttau beschrieben wurden, daß in den Geweben selbst eine Menge von Strombahnen existierten, welche ganz gut leiten, obwohl die äußeren Verbindungen der Elektroden scheinbar oder faktisch durchbrochen sind. — Zu diesem Bilde füge ich nun soviel hinzu, daß der Polarisationsstrom eben die konzentrisch gelegenen fibrillären Bestandteile des körperlichen Kondensators ladet, und, wenn die Ladung groß genug ist, eine Öffnungszuckung bewirkt; ist dieselbe aber noch unter der Erregbarkeitsschwelle des betreffenden Nerven, so kann sie doch anderweitig wirken und, bei entsprechender Isolation, eine Zuckung der Lippen, der Wimper oder eine Geschmacksempfindung bei einem anderen Menschen hervorrufen.

Ich habe Reihen von solchen Versuchen durchgeführt, wo ich bei gewisser Elektrodenentfernung und Elektrodengröße die Kapazität des Körpers ermittelte, d. h. den betreffenden Ausschlag des Galvanometers mit einem anderen Ausschlag eines geaichten Kondensators, laut üblicher

Methode, verglich. — Ich habe dann diese Körperkapazität geladen und in Nerven einer anderen Person entladen, wobei selbstredend nur Versuche in gewissen Grenzen von schmerzlosen Spannungen durchgeführt werden konnten. — Durch Substitution von Glimmerkondensatoren an Stelle der reizenden Körperkapazität bin ich zu denselben Zahlen in indirekter Weise gekommen, wie sie ganz einfach aus dem Galvanometerausschlag in direkter Weise früher berechnet wurden. — Ich habe auch durch Verbindung einiger Menschennerven mit gleichnamigen Elektroden künstliche Summen von Kapazitäten hergestellt, oder auch kaskadenartige Verbindungen durchgeführt, die wirkungslos waren, laut dem, was im nächsten Kapitel (unter d. Titel: „Verbindungsarten") zur Besprechung kommt. — Ich habe auch in solchen „Summen" durch Substitution von Kondensatoren oder Kabeln, von einer der menschlichen Kapazität angepaßten Größe, gewünschte Schwankungen hervorrufen können. — Ein Basedow mit kleinem Widerstand gab mir keine Zuckung meines Lippenrotes, trotz des geringen Widerstandes, wenn die Elektroden elementenartig verbunden waren; er gab mir aber bei gleichnamiger Verbindung eine starke Zuckung, welche vollkommen dem Werte einer großen Kapazität entsprach. — Derselbe Basedow konnte ganz gut meine motorischen Nerven reizen, sobald ich denselben mit anderen Kondensatoren in Verbindung setzte, und zwar mit gleichnamigen Belegen; die Zuckung blieb aus, wenn die Verbindung elementenartig war. — Ein beliebiger Körperteil eines normalen Menschen oder noch vielmehr eines Sklerodermikers mit erhöhtem Widerstand gaben unter obigen Bedingungen dieselben Reizeffekte bei viel größerer Spannung dem Wert der kleinen Kapazität entsprechend: es gab aber z. B. eine Hand eines Basedow-Kranken zwischen kleinen Elektroden denselben Galvanometerausschlag und denselben Reizerfolg wie die Hand eines normalen Menschen zwischen entsprechend vergrößerten Belegen der Elektroden. — Dies sind alles nur Beispiele zur Erläuterung einer Tatsache, die erst dann eingehend besprochen werden wird, wenn wir die Methoden der Entladung besprechen, und uns darüber einigen, in welchem Maß wir den erregenden Strom ausdrücken sollen? — Ich habe es aber schon hier für passend gehalten, den Begriff der Körperkapazität nicht nur mit dem der Dichte, der Intensität und des Widerstandes zu vergleichen, sondern auch gleich bei Gelegenheit mit den Vorgängen der Polarisation. — Ich finde nämlich, daß diese Begriffe in jenem Beleuchtungswinkel, den ich hier durchzuführen trachtete, ganz gut zusammen harmonieren, und daß die Versuche, welche ich ausgeführt habe und um so lieber beschreibe, als ich keine ähnliche in der klinischen Literatur gefunden habe, manches in anderem Licht zeigen. — Selbst-

redend müssen die Versuche sehr sauber gemacht werden und unter Berücksichtigung, daß unter dem Einfluß des Stromes der körperliche Kondensator lech wird, schlecht isoliert, und wir bei einer Reihe von Versuchen immer mehr mit den ausgeprägten Eigenschaften eines variablen Widerstandes und immer weniger mit denjenigen einer Kapazität zu tun haben werden. — Diese Einzelheiten im Auge haltend, können wir nun zu den Methoden und Maßeinheiten der klinischen Kondensatormethoden übergehen.

VII.

Alle Methoden, die bisher gebraucht wurden, um einen Kondensator in den Körper zu entladen, um dessen Reiz mit dem Reizerfolg vergleichen zu können, beruhen hauptsächlich auf demselben Prinzip einer alternativen Schaltung. — Wenn wir alle möglichen Wippen, Kommutatoren und Schlüssel schematisch darstellen, so finden wir überall, daß der Kondensator abwechselnd mit dem Strom und mit dem Körper verbunden wird, wodurch die Ladung, welche der Kondensator von der Batterie erhalten hat, in den Körper hineingeschickt oder entladen wird. — Geschieht diese alternative Ladung und Entladung durch Druck auf einen Taster, durch Bewegung eines Schlüssels, Rotierung eines Kommutators, Schwingung einer Feder (Boudet (7—8), Chauveau (13), Dubois (39) usw.), so können wir uns doch überzeugen (besonders mit Berücksichtigung eines vereinfachten Schemas), daß überall ein Pol der Batterie in konstanter Verbindung mit dem Körper steht, während die Belege des Kondensators abwechselnd mit Körper und Batterie in Verbindung gebracht werden. — Sowohl den einfachen Versuch von Dubois, den er „isolierte Entladungsmethode“ benannte, als die neueste komplizierte Versuchsanordnung von Cluzet (18), wo vermittelst Flintenschuß ein Draht durchgebrochen wird, oder ein Glasfaden vernichtet, können wir kurz in drei Perioden teilen. Zuerst ist der Körper mit einem Belege des Kondensators und einem Pole der Batterie verbunden; dann wird durch Druck oder irgend eine andere Bewegung ein Kreis geschlossen, welcher die beiden Belegungen des Kondensators mit je einem Pol der Batterie in Verbindung setzt; zuletzt wird durch weiteren Druck, oder Losschnellen eines Tasters, oder Federschwingung, die Verbindung der Batterie mit dem Kondensator unterbrochen und eine neue Verbindung hergestellt, welche von dem Kondensator zum Körper führt. — Es bleibt aber jedenfalls in allen Fällen der Körper in konstanter Verbindung mit einem Pol während der ersten Periode.

Ich will nun gleich bei der Gelegenheit betonen, warum ich in meinen Versuchsanordnungen die soeben geschilderte konstante Verbindung des

Körpers mit einem Pol zu vermeiden versuchte und nicht geraten habe. — Sollte auch meine Besorgnis unbegründet sein für den Fall der Kondensatorentladung, war es mir doch bekannt, daß zur elektrischen Erregung eine Durchströmung nicht erforderlich ist, und daß ein Muskel unter Umständen auch im offenen Kreise zur Zuckung gebracht werden kann, und daß dazu die günstigsten Bedingungen vorhanden sind, wenn ein Konduktor von großer Kapazität an einem Ende des offenen Kreises sich befindet, oder wenn beide Enden des Kreises eine große Oberfläche besitzen (Kondensatorbelege, Körper) und Influenzwirkungen aufeinander ausüben können. — Diese Erscheinungen wurden zwar als unipolare Induktionswirkung benannt, es gibt jedoch Autoren, welche diese Benennung nicht mehr „ganz passend" nennen, und welche sogar ohne Induktion (Schiff, Fuchs) (111 S. 87) ähnliche Resultate erhielten, indem sie die Ladung der Enden einer offenen Kette auf Belegungen eines Kondensators übertrugen. Die interessanten Versuche von Charpentier (12), mit einem zwei Muskelpräparate verbindenden Kondensator oder der schöne Vortrag von Dubois-Reymond (29), laut welchem ein Tetanus entstand, wenn zwei mit dem primären Strom verbundene Leydener Flaschen nur aneinander „genähert" waren, schienen mir meine Besorgnis zu berechtigen und ich hatte seinerzeit der Firma, die den ersten bipolaren Entladungsapparat nach meinem Entwurf konstruiert hatte, kurz und bündig geschrieben: „sicher ist sicher". — Um einen möglichst reinen und einwurfsfreien Versuch zu haben, habe ich auch immer seit Jahren eine bipolare Ladung und Entladung gebraucht, von der ich heute nur das wiederhole, was ich in einer meiner ersten Publikationen geäußert hatte:

„Unter der Abkürzung bipolare Entladung verstehe ich eine alternative Verbindung beider Kondensatorflächen mit zwei Elementen oder zwei Elektroden im Gegensatz zu jenen Apparaten, wo die Anwendung der Wirkung in zwei entgegengesetzten Richtungen geschieht oder, wo nur ein Pol der Batterie kommutiert wird, während der andere in konstanter Verbindung bleibt". — Als solche bipolare Verbindungsmethode empfehle ich einem Jeden, der die Zeit der alternativen Ladung variieren und untersuchen will, meinen, in der Wiener Akademie beschriebenen „Relais für klinische Zwecke" (88), der eigentlich eine elektrisch betriebene Pohlsche Wippe ohne Kreuz ist, welche nach Bedürfnis einmal umgelegt werden kann oder oftmals in der Sekunde die Umschaltung bewirkt. — Für klinische Zwecke der alltäglichen Praxis empfehle ich wiederum einen einfachen Doppelschlüssel, so wie ich ihn längst in meinem Sprechzimmer brauche, und zwar an der Stelle des einfachen Schlüssels der Unterbrechungselektrode. — Ein solcher Schlüssel ist auch an dem schönen Apparat

montiert worden, den Mann (64—67) nach Rücksprache mit mir, bei der Firma Reiniger, Gebbert & Schall konstruieren ließ, und in den Katalogen dieser Firma als „Apparat nach Dr. Mann und Dr. Zanietowski mit doppelpoligem Handumschalter" figuriert; es hat also auch Mann, auf Grund seiner reichhaltigen und wertvollen Versuche, die Bedeutung meiner alternativen, bipolaren Entladungsmethode bejahen und würdigen wollen. — Zuletzt ist noch eine solche Doppelschlüsselelektrode nach meinem Entwurf vom Mechaniker Kerker in Breslau konstruiert worden, und zwar in direkter Verbindung mit einem äußerst billigen, handlichen, zylindrischen Kondensator, den ich aus entsprechenden Platten (geliefert von der Glimmerfabrik Krawutschke in Breslau) herstellte.

Außer allen den obgenannten Apparaten, die den Kondensator alternativ mit dem Strom und mit dem Körper verbinden, sei es auf unipolarem oder bipolarem Wege, gibt es noch eine Form von einfacher Verbindung der Stromquelle, des Kondensators und des Körpers in einen Kreis. — Dazu würde gewissermaßen die Vorrichtung von d'Arsonval (1) gehören, welche aus einem in Kupfersulfat beweglichen Drahte besteht, dessen Hebung und Senkung parallel zu entsprechenden Veränderungen der Spannung an den Belegen des Kondensators entsprechen soll; wenn wir sein Schema vereinfachen, ist es ersichtlich, daß Kondensator, Stromquelle und Körper sich in einem Kreise befinden. — Zu ähnlicher Schaltungskategorie würde auch die berühmte Methode von Hoorweg (48—54) gehören, in welcher vermittelst entsprechender Stöpsel und Schlüssel der Kondensator entweder in einen kurzgeschlossenen Kreis eingeschaltet oder direkt mit Körper und Stromquelle in Verbindung gesetzt wird. — Es muß aber hier sofort an Ort und Stelle erläutert werden, und zwar für diejenigen, welche die Hoorweg'sche Methode nicht kennen, daß der berühmte Verfasser in seinen lehrreichen Versuchen eigentlich nicht die Kondensatorentladung als Maß verwertet, sondern dieselbe mit einem konstanten Strome vergleicht und laut eigenen Formeln, daraus interessante Koëffizienten der Erregung berechnet. — Vom technischem Standpunkte gehört jedoch eine solche Schließung eines Kreises, wie sie auch geschehen mag, zur Kategorie einer Ladung durch denselben Kreis. — Man kann diesen Vorgang auch mit einem einfachen Schlüssel zu stande bringen, es wurde aber von Praktikern diese Methode verhältnismäßig selten gebraucht, vielleicht deswegen, weil der Strom nicht geschlossen zu sein schien und vielleicht deswegen, weil manchmal das Resultat mit starkem und nicht für klinische Zwecke sehr bequemen Strom erzielt wurde. — Diese Anwendungsform, deren Vergleich mit anderen Methoden ich nicht in der bisherigen zugänglichen Literatur gefunden habe, erläutert zwei Tatsachen,

die paradox zu sein scheinen. — Zuerst braucht nämlich ein Strom nicht geschlossen zu sein (im engsten Sinne des Wortes), um zu reizen, wie wir es eben im Fall der Stromesöffnung sahen oder im Fall der oberwähnten Kondensatorladung. — Zweitens erhalten wir positive Reizeffekte bei obiger Schaltung (in einem Kreis) bei viel größerer Stromstärke, als im gewöhnlichen Fall der doppelpoligen alternativen Verbindung beider Belege mit dem Strom und mit dem Körper. — Warum? Nur deswegen, weil im ersten Fall der reizende Kondensator mit dem körperlichen Kondensator derartig verbunden ist, daß dieselben quasi eine Summe von Leydener Flaschen oder von Seekabeln bilden, deren gleichnamige Belege in Verbindung stehen; im zweiten Fall aber diese beiden Kondensatoren so eingeschaltet sind wie die einzelnen Zink- und Kohlenplatten unserer galvanischen Batterie und dem physikalischen Gesetze der „Kaskadenschaltung“ folgen müssen. — Laut obigem Gesetze ist die Stromspannung eines jeden Kondensators, dieser aus n Kondensatoren bestehenden Reihe gleich $\frac{V_1 - V_0}{n}$, wo V_1 und V_0 die Spannungen des ersten und des letzteren Beleges darstellen und wonach die Energie der ganzen Batterie nur den n ten Teil der Energie eines mit derselben Spannung geladenen Kondensators darstellt (110). — Eine solche Verbindung in einen Kreis wird auch „Kaskadenschaltung“ benannt, im Gegenteil zu der elementenartigen Verbindung von Kondensatorsummen. — Die scheinbar gleichgültige Tatsache ist jedoch von solchem Wert, wie die jedem Elektrodiagnostiker heute bekannte Tatsache der Elementenschaltung, laut welcher für kleinere äußere Widerstände die Stromstärke durch Vermehrung der Elemente nicht vergrößert wird und bei der Applikation des Stromes auf den hohen Widerstand der Haut, vice-versa eine größere Anzahl von Elementen mit großem inneren Widerstand erforderlich ist.

Ich habe öfters Versuche angestellt, in welchen, bei demselben Kondensator und denselben Elektroden, dieselben Nervengruppen erst auf viel größere Kraft bei obiger Schaltung reagierten, als bei alternativer Ladung und Entladung. — Ich erwähne nur zum Beispiel für 3 Nervengruppen die Zahlen von 3·5, 5·1, 8·2 Volts bei alternativer Ladung, während 7, 10—11 und 16·5 Volts bei Schließung desselben Kreises erforderlich waren. — Zum vollständigen Vergleich füge ich hinzu, daß, dieselben Nervengruppen ganz anders reagierten, wenn ich weder eine alternative bipolare Entladung, noch eine direkte Ladung brauchte, sondern aus Neugierde eine alternative unipolare Entladungsvorrichtung in Bewegung setzte, wie diejenige von Dubois o. A. — Ich erhielt sodann für dieselben Bedingungen des Versuches und für dieselben Nervengruppen, Werte

von 3, 4·5, 6 Volts, oder von 4·3, 6, 9 Volts, je nachdem der positive oder der negative Pol der Stromquelle mit dem Nerv in konstanter Verbindung standen und der andere Pol alternative Stellung nahm.

Ich lege selbstredend keinen Wert auf die numerische Größe obiger Zahlen und erwähne absichtlich nicht die betreffenden Muskelgruppen, damit ich nicht mißverstanden werde und damit nicht daraus geschlossen wird, ich hätte obige Zahlen als absolute Erregbarkeitswerte gewisser Nerven angegeben. — Es sind nur Beispiele von Vergleichszahlen, die durchschnittlich aus einer ziemlich konstanten Reihe meiner Protokolle berechnet wurden und die dazu dienen sollen, den Vergleich verschiedener Methoden in einer bisher nicht gebrauchten Weise durchzuführen. — Aus diesem Vergleiche ist ohne weiteres ersichtlich, daß, unter möglichst konstanten Versuchsbedingungen, verschiedene Werte, je nach der Schaltung, zu erreichen sind. — Den Bedarf einer größeren Stromstärke für direkten Stromschluß respektive direkte Kondensatorladung erkläre ich dadurch, daß die Körperkapazität, wie klein sie auch sein mag, laut Gesetzen von der „kaskadenartigen“ Verbindung, einen entsprechenden Einfluß ausüben muß. — Viel kleiner ist diese Stromstärke, wenn wir die alternative Entladung brauchen, wo ein Kondensator in den anderen gewissermaßen entladen wird. Wenn die alternative Entladung nur bipolar geschieht, so ist sie auch viel konstanter, während die unipolare mir manchmal verschiedene Werte gab, je nachdem der betreffende erregbarkeitsverändernde Pol in konstanter Verbindung mit dem Körper stand. — Nachdem der Strom nicht geschlossen zu sein braucht, um zu reizen, nachdem anderseits der Körper nicht ein einfacher Leiter ist, sondern eine Kapazität, die sich mit der Kapazität des reizenden Kondensators summieren oder subtrahieren kann, nachdem endlich die konstante Verbindung eines Batteriepols mit dem Körper, mir nicht so konstante Resultate lieferte, wie die bipolare alternative Methode meines Relais oder meines Doppelschlüssels, habe ich mich für die letztere entschlossen, ohne dadurch den Wert anderer Methoden beeinträchtigen zu wollen. — Wie groß auch die Kapazität des Körpers sein mag, wie wichtig auch die unipolare Wirkung eines einzigen Pols, war ich dahin bestrebt, dem Praktiker alles Unsichere zu entziehen und eine kalibrierte Flasche mit bekannter Elektrizitätsmenge in die Hand zu geben, die er ohne weiteres in kürzestem Wege in jene zweite Flasche entleeren soll, welche die elektrische Geräumigkeit der gereizten Gewebe darstellen soll. — Seit einer Reihe von Jahren gehe ich noch weiter und trachte darnach, die beiderseitigen Geräumigkeitsmaße aneinander anzupassen und zwar die Kapazität des reizenden Kondensators mit derjenigen des gereizten zu vergleichen.

VIII.

Nachdem wir im großen ganzen die Methoden der Kondensatorentladung besprochen und dieselben in alternative bipolare, alternative unipolare und einfache Ladungsmethoden geteilt haben, können wir nun die Frage stellen, in welchen Einheiten es wohl am vorteilhaftesten sein wird, die Größe dieser Ladung in der Klinik zu messen? — Wir haben ja in den ersten Kapiteln kennen gelernt, was ein Erg, ein Coulomb, ein Farad usw. ist, haben die Abhängigkeit dieser Faktoren voneinander und von dem Begriffe der Zeit besprochen; wir haben dann in weiteren Kapiteln genau die Strombahn selbst besprochen, die Kapazität und den Widerstand des Körpers berücksichtigend; was bliebe nun übrig, als sich ganz einfach für die eine oder andere Nomenklatur der Maße zu entscheiden? — Und doch lehrt eben die Erfahrung, daß seit Jahren darüber gestritten wird, wie man die Kondensatorentladung vom theoretischen Standpunkte aus messen soll, worin vielleicht auch ein wichtiger Grund liegt, daß diese Methode in der Praxis zu wenig gewürdigt wurde. — Es hat also d'Arsonval (1) betont, die Erregbarkeit der Nerven wäre hauptsächlich durch die Spannungsänderung, diejenige des Muskels durch die Quantität beeinflußt. — Es hat dann Dubois (37) geraten, nur die Elektrizitätsmenge ($q = CN.$) zu berücksichtigen, von welcher jedoch die sogenannte „unwirksame Quantität" subtrahiert werden muß. Es hat in weiterer Folge Waller (81) eine charakteristische Zahl bestimmt, die er als rate of impact nannte, und es kamen zuletzt verschiedene mathematische Formeln von Weiß, Hoorweg, Cluzet und von Lapicque dazu, die gewissermaßen auf gegenseitigem polemischem Grunde stehen. — Außerdem müßten wir noch diejenigen Arbeiten erwähnen, welche die Schwierigkeiten einer genauen Erregbarkeitsuntersuchung aus verschiedenen biologischen Ursachen besprachen, und wir hätten ein Bild der reellen Lage des Diagnostikers und des praktischen Arztes. — Blieb er bei der alten Methode, so war er doch dessen bewußt, welche Fehler er begehen mußte; wollte er sich an irgend eine neue wenden, so war es ihm wahrhaftig schwierig, sich z. B. für Coulombs oder Ergs zu entschließen, um so mehr, als diese Begriffe nicht immer zugänglich waren, und noch schwieriger, irgend einer mathematischen Formel die Treue zu schwören, um so mehr, als jeder Autor nur seine Formel als einzige allgemeine Regel betonte. Wenn er doch, trotz aller Schwierigkeiten, genau und präzis arbeiten wollte, was an und für sich durch biologische Bedingungen so vielfachem Wechsel unterworfen ist, und deswegen zu einem theoretischen Handbuche in der Verlegenheit griff, so fand er oft entweder eine allgemeine Äußerung, daß klinische Messungen am menschlichen

Körper nicht mit präzisen Reizwerten der isolierten Froschnerven vergleichbar sind, oder auch ein Labyrinth von Theorieen und Vorschlägen, in welchem eine Orientierung schwer und zeitraubend war. — Ein französischer Gelehrter hatte auch gewissermaßen mit Recht betont, daß im dunklen Walde der Lebenserscheinungen auf jedem Schritt und Tritt die Laterne des Fortschrittes von einem neuen Theoretiker ausgelöscht wird und der Praktiker wenigstens so lange im dunkeln bleiben muß, bis sich die neue Theorie vollkommen eingebürgert hat. — Vielleicht lag auch darin der Grund, daß die an und für sich präzise und bequeme Kondensatorentladung, welche in der Klinik, wenn schon nicht unbedingt absolute, doch jedenfalls möglichst konstante Resultate liefert, nur von einer kleinen Forscherzahl genügend gewürdigt wurde. — Ich will hier trachten, dem Arzt als Führer in dem Labyrinth dieser an und für sich wichtigen Begriffe und Theorien zu dienen, und werde die obgenannten Schwierigkeiten, deren Beseitigung eben die erste Pflicht einer neuen Methode ist, in drei Gruppen zu teilen versuchen.

Zur ersten Gruppe, welche den Inhalt des vorliegenden Kapitels und des folgenden bilden wird, zähle ich die rein biologischen Schwierigkeiten, mit welchen uns der Nerv selbst als solcher entgegenkommt. Ich werde auch in bündiger Weise betonen, welche von diesen Schwierigkeiten die Kondensatormethode beseitigt oder wenigstens vermindert.

Zur zweiten Gruppe, welche im Kapitel IX besprochen wird, zähle ich diejenigen Schwierigkeiten, welche aus der Wahl eines Maßes für die Kondensatorentladung entstehen. Diese Schwierigkeiten sind für den Praktiker um so wichtiger, als ein jeder andere Einheiten vorschlug, wie wir es soeben erwähnt haben; wir werden jedoch sehen, daß diese Wahl in den Grenzen der alltäglichen Praxis eigentlich nur auf einer Vereinbarung beruhen dürfte, welche nicht so schwer ausfällt.

Zur dritten Gruppe (Kap. X) zähle ich die obgenannten mathematischen Formeln der Erregung, von welchen ich schon in der Einleitung ausdrücklich gesagt habe, sie wären im heutigen Zustande des Fortschrittes unbedingt notwendig. Ich will nur dem Praktiker zeigen, nachdem wir schon in früheren Kapiteln das, was erregt, und das, was erregt wird, besprochen haben, wie er im Lichte dieser Gesetze die Verbindung zwischen dem Erregenden und dem Erregten verstehen soll und was aus diesen Gesetzen am Krankenbett nicht von so großem Belang ist.

Fangen wir jetzt mit der ersten Gruppe an und zwar mit der Tatsache, daß der Widerstand der Gewebe manche Schwierigkeiten dem Arzte darbietet, schon dadurch, daß er verschieden ist und daß er unter dem Ein-

flusse des Stromes gewissen Schwankungen unterliegt. — Auch verändert sich die Erregbarkeit selbst unter dem Einfluß des Stromes und wird am negativen Pole erhöht, am positiven dagegen vermindert, was wir mit dem Namen der elektrotonischen Veränderungen bezeichnen. Somit hätten wir in der ersten Gruppe von Schwierigkeiten hauptsächlich mit drei Tatsachen zu tun: 1. mit den Schwankungen der individuellen Erregbarkeit und des Widerstandes bei verschiedenen Personen, 2. mit den Veränderungen des Widerstandes unter dem äußeren Einfluß des Stromes und 3. mit den Veränderungen der Erregbarkeit, die wir als elektronisch benannten. — Fangen wir mit der ersten Tatsache der „Erregbarkeitswerte“ an.

Um verschiedene normale und pathologische Erregbarkeiten vergleichen zu können, ist es am vorteilhaftesten, aus einer Reihe von Fällen Mittelwerte zu berechnen. Wir können zwar manchmal die gesunde Körperhälfte mit der kranken vergleichen, wenn es sich um Nerven einer Hälfte handelt, wir müßten aber einen anderen Weg einschlagen, wenn es sich um den Verdacht doppelseitiger Affektion handelt. — Das für diesen Fall vorgeschlagene Verfahren von Erb (vide 109), die „verdächtigen“ Nerven mit anderen gesunden Nerven desselben Individuums zu vergleichen, hat sich nicht sehr bewährt, obwohl wir gesehen haben daß ziemlich wichtige wissenschaftliche Grundlagen für ein konstantes Erregbarkeitsverhältnis verschiedener gesunder Nerven und für pathologische Verschiebungen desselben bei krankhaften Zuständen sprechen. Es bleibt also, wie gesagt, für die alltägliche Praxis nur übrig, durchschnittliche Größen der „Normal-Erregbarkeit“ an einer größeren Anzahl von gesunden Individuen festzustellen und mit solchen Tabellen der Normalwerte jeden anderen Befund zu vergleichen. — Diesen Weg hat Stintzing (71) für den konstanten und faradischen Strom betreten, und es werden bisher seine „Normaltabellen“ von jedem Arzt beinahe gewürdigt und gebraucht. Diesen Weg habe ich auch mit Hilfe meiner Kondensatorapparate eingeschlagen und am Krankenbette eine ganze Reihe von Erregbarkeitswerten zu ermitteln versucht, während viele andere Forscher sich nur mit Beispielen begnügten, die sogar manchmal nur als Erregbarkeit des „Menschennerven“ (!Nerf de l'homme!) bezeichnet wurden. — Sofort in meinen ersten Versuchen habe ich mich auch überzeugt, daß die Normalgrenzen der Erregbarkeit, in welchen Einheiten sie auch ausgedrückt werden, wenn sie nur mit Kondensatorentladungen gemessen sind, viel enger sind, als diejenigen, welche Stintzing in seinen berühmten Tabellen angegeben hatte. — Ich hatte nämlich zuerst aus den sogenannten „Normalreihen“ alle die Fälle herausgeworfen, welche zwar scheinbar

gesunde Nerven hatten, aber doch wegen anderer Krankheiten eigentlich nicht in ideale normale Erregbarkeitsgrenzen paßten. — Ich erwähne z. B. alle kachektischen Zustände, Neubildungen, gewisse Infektionskrankheiten und vor allem diese alltägliche Anämie, bei der außer Blutarmut gleichzeitig ein Nervenleiden besteht. — In dem letzten Falle haben wir beinahe nie mit einer idealen normalen Erregbarkeit zu tun. — Es sind entweder Individuen mit äußerst erregbarem Nervensystem, das zwar schwach, aber auch empfindlich ist, oder wiederum Individuen mit träger Verdauung, schwachem Puls und herabgesetzter Erregbarkeit. — Sowohl in der ersten Kategorie als auch in der zweiten haben wir mit Werten der Erregbarkeit zu tun, die wohl in die üblichen Grenzen der „normalen“ Tabellen paßten, jedoch sich insofern gruppieren lassen, als die einen rechts und die anderen links von einem idealen konstanten Medium der optimalen Erregbarkeit sich zusammenstellen lassen. — Wenn wir außerdem, statt bisheriger Methoden, die Kondensatorentladungen brauchen, so wird dadurch noch mehr die obere und untere Erregbarkeitsgrenze aneinander genähert, und meine Beispiele vom Jahre 1899 zeigten, daß der Facialis z. B. nach Stintzing zwischen 1·0—2·5 milliampères, oder zwischen 110—132 Rollenabstand schwankte, während die Entladung meines Kondensators konstant 18—19 Volts verbrauchte. Anderseits hatte ich mich überzeugt, daß die kurze Kondensatorentladung so wenig an und für sich diese Normalwerte der Erregbarkeit beeinflußt, daß man bei Untersuchung desselben Nerven in derselben Sitzung stets das gleiche Resultat findet und an verschiedenen Sitzungen minimale Abweichungen, die wenigstens so klein sind wie diejenigen des Gärtnerschen Pendels, wenn nicht geringer. — Diese Resultate wurden von Mann (63—67) und neuerdings von Bernhardt (10) bestätigt, und ich kann dem letzten der obgenannten Forscher versichern, daß die Methode, von welcher er sagt, „sie mache einen neuen und nicht billigen Apparat notwendig“, neuerdings von mir so vereinfacht wurde, daß ein jeder Arzt sich selber Kondensatoren aus Glimmer bauen und aichen kann, um dadurch in billigster Weise teurere und weniger präzise Apparate der älteren Zeiten zu ersetzen.

Sobald ich an einer Reihe von normalen Personen die obgenannte Konstanz der Werte konstatiert hatte, und zwar in kleineren Grenzen, wie die üblichen bisherigen Werte, war es schon für mich vollkommen genügend, um dieselben in der Klinik zu verwerten, um so mehr, als alle ernsten Elektrodiagnostiker der Neuzeit, wie Mann (65), Cohn (112) usw. sich in ihren Handbüchern geäußert haben, die bisherigen Werte hielten sich in sehr weiten Grenzen und wären nur bei „stärkeren Ver-

änderungen“ (112, S. 30) oder „groben Abweichungen“ (65, S. 12) verwendbar. — Meine ersten Vorversuche an Tetaniekranken zeigten auch, als Beweis meiner Hypothese, daß sogar dort Unterschiede der Erregbarkeit mit der Kondensatormethode zu finden waren, wo der Nerv in den Anfangsstadien noch „galvanisch und faradisch normal“ war, was auch von Exacerbationen der Krankheit und von späteren Rekonvalescenzstadien galt. — Weitere Beispiele will ich hier nicht erwähnen und wiederhole hier nur das, was ich vor Jahren gesehen und in die Praxis eingeführt habe, ohne dadurch andere Methoden beseitigen zu wollen, von welchen ich doch ausdrücklich sagte: (89, S. 3) „mögen dieselben, eine jede in ihrer speziellen Richtung und Anwendung, nur weiter die schönsten Errungenschaften für Theorie und Praxis erobern . . . während meine Kondensatormethode für gewisse Zwecke ein viel empfindlicheres Reagens liefert, eine viel präzisere Messungsmethode ist.“ — Die Empfindlichkeit der Kondensatormethode am Krankenbette, im Verhältnis zu den bisherigen üblichen Methoden, wäre also auch ein Beweis für die Konstanz der Erregbarkeitswerte, die wir mit derselben Methode am normalen Menschen bestimmt hatten. — Je breiter nämlich die Grenzen eines normalen Maßes sind, desto schwieriger ist die Bestimmung jeder Abnormität; je präziser das normale Maß, desto empfindlicher auch die Reaktion in pathologischen Fällen. — Eine grobe Wage wird uns verhältnismäßig falschere Resultate ergeben, als eine präzise, und wir dürfen wohl nicht immer die ganze Schuld auf das Material werfen, das wir wägen, sondern vielleicht vielmehr auf die unempfindlichen Instrumente, mit denen wir bisher gewogen haben. — Selbstredend wird uns eine Apothekerwage am Fleisch- oder Getreidemarkt nicht die Dezimalwage ersetzen können und kann sogar mit ihrer kleinen, empfindlichen Skala vollkommen nutzlos sein; am Krankenbett wägen wir aber ganz minimale Veränderungen der biologischen Eigenschaften und brauchen dazu ein so empfindliches Instrumentarium, wie der Apotheker zur Messung seiner Reagentien und Gifte.

Außer allen obgenannten Erregbarkeitsschwankungen der individuellen inneren Erregbarkeit bei demselben Individuum und bei verschiedenen Individuen, die wir bisher besprochen haben, kommen noch künstliche Veränderungen derselben, unter dem Einfluß von äußeren Ursachen, in Betracht. — Ich lasse momentan bei Seite die Schwankungen des Widerstandes, denen ein separates Kapitel gewidmet wird, und will nur ein paar Worte über die elektrotonischen Veränderungen sagen, um schon bei dem großen ganzen des Erregbarkeitsbegriffes zu bleiben. — Es ist nun bekannt, daß während der äußeren Einwirkung eines Stromes auf den Nerven eine innere Zustandsveränderung desselben ein-

tritt, und zwar dadurch, daß sich in der Nähe der Kathode ein Zustand erhöhter und in der Nähe der Anode ein Zustand herabgesetzter Erregbarkeit einstellt. — Je stärker der Strom ist und je länger er wirkt, desto stärker werden diese Erregbarkeitsdifferenzen, die wir als elektrotonisch bezeichnen. Laut den bisherigen Ansichten, die hauptsächlich von Pflüger geäußert wurden, wirkt der Katelektrotonus, also der Zustand der erhöhten Erregbarkeit, der sofort bei Schließung eintritt, an der Stelle, wo er entsteht, also an der Kathode, als Kontraktionsreiz auf den Nerv; bei jeder Stromöffnung findet ein Verschwinden des Anelektrotonus, also der verminderten Erregbarkeit, statt, das wiederum ebenfalls als Kontraktionsreiz wirkt und zwar mit Hilfe einer sogenannten negativen Modifikation oder Umkehr der bisherigen Erregbarkeitsverhältnisse, wobei jedoch diese Phänomene lange nicht so stark sind, wie diejenigen, welche bei der Schließung besprochen wurden. — Obwohl das ganze Tiergesetz nicht auf den Menschen ohne weiteres angewendet werden kann, so ist jedoch auch beim menschlichen Nerven und Muskel in ihrer Reaktion auf den Strom eine gewisse Gesetzmäßigkeit vorhanden, die nur durch dieses Gesetz zu erläutern ist, und es ist auch nicht zu verkennen, daß manche therapeutische Wirkung sich auf obgenannte Erscheinungen gründet. Die Tatsache, daß man bei Lähmungen die Kathode als Reiz-Elektrode wählt, dagegen die Anode als beruhigende Elektrode bei Neuralgien, ferner die Tatsache, daß bei verschiedenen Stromstärken und Stromrichtungen, auf Grund obiger elektrotonischer Gesetze, Schließung und Öffnung anders wirken, endlich die Tatsache, daß die einzelnen Reizmomente bei wechselnder Stromstärke und wechselnden Polen durch ein dem Pflügerschen Tiergesetz ähnliches klinisches Zuckungsgesetz bestimmt wurden, sind heute jedem Arzt insoweit bekannt, daß ich hier nur daran zu erinnern brauche; übrigens gehört das nicht zu unserem eigentlichen Thema. — Höchstens möchte ich hier für diejenigen Leser, denen die spezielle Fachliteratur nicht zugänglich ist, äußern, daß laut neuesten Arbeiten die obigen Gesetze des Tierexperimentes auch genau beim Menschen festgestellt wurden (Zanietowski, Cluzet), und daß andererseits die bahnbrechendenn Arbeiten von Fr. Joteyko (58, S. 157) es bewiesen haben, daß diese verschiedenen polaren Wirkungen der Kathode und der Anode „Charakteristica der Erregbarkeit verschiedener kontraktilen Substanzen sind." — Diese letzten Arbeiten erklären uns eben, warum die Erregung des nicht differenzierten, nerven- und fibrillenlosen Protoplasmas anders ist als diejenige des differenzierten, warum die an Sarkoplasma reichen glatten Muskeln in der Norm eine Umkehrung des üblichen Reizungsgesetzes zeigen, und warum endlich die anormalen Muskeln der

durch Vergiftung, Absterben, Degeneration oder Nervendurchschneidung verursachten Zerstörung der anisotropen, fibrillären Substanz ein ähnliches Verhalten verdanken, wie das soeben geschilderte Verhalten der normalen glatten Muskeln. — Ich erwähne dies alles, um näher zu betonen, wie wichtig diese elektrotonischen Wirkungen „in praxi" sind, obwohl manchmal geäußert wird, daß eine Anwendung des Pflügerschen Tiergesetzes auf den Menschen nicht angängig ist, und obwohl öfters in zu breiten Grenzen mit der Erbschen Äußerung gefochten wird, daß doch beim Menschen die Pole nicht, wie am bloßgelegten Tiernerv, aufgesetzt werden und derselbe dadurch nur von sogenannten „Stromschleifen" getroffen wird.

In voller Erkenntnis der obgenannten Beschränkungen des Tiergesetzes, jedoch mit Rücksicht auf die Wichtigkeit aller soeben geschilderten elektrotonischen Veränderungen, habe ich mich auch seit Jahren damit befaßt, ob die Kondensatorentladung an und für sich auch so wichtige elektrotonische Erregbarkeitsveränderungen hervorruft. — Auf Grund zahlreicher Versuche mit Apparaten eigener Konstruktion, deren Beschreibung ich teilweise der Krakauer Akad. der Wissenschaften (85, S. 92—139), teilweise der Wiener Akad. der Wissenschaften (86, K. VI, III) vorlegte, bin ich zu folgenden Resultaten gekommen. Die Kondensatorentladung eignet sich nicht nur dazu, jede Minimalschwankung der durch verschiedene andere Wirkungen verursachten Erregbarkeitsveränderungen zu erkennen und in genauen Einheiten zu bestimmen, sondern gestattet außerdem, nachdem sie selbst keine solche Veränderung hervorruft, oder wenigstens minimale, auf Grund ihrer kurzen Wirkung, diverse interessante Tatsachen zu beobachten, wie z. B. das Verhalten der zwischen den Elektroden befindlichen „intrapolaren" Strecke oder die Abhängigkeit der Erregbarkeitsveränderungen von der Polarisationsdauer des konstanten Stromes. — Es ist mir sogar gelungen, die mangelhafte Übereinstimmung verschiedener, sonst sorgfältiger Untersuchungen anderer Autoren zu vervollkommnen und einige Äußerungen über „unverständliche", „unerklärliche", oder „nicht hinreichend aufgeklärte" Einzelheiten des elektrotonischen Gesetzes näher zu besprechen. Ich erwähne hier aus diesem Ganzen nur, als praktisch wichtiger, das von mir näher untersuchte Verhalten des sogenannten „Indifferenzpunktes", das sich desto mehr der Kathode nähert, je stärker der Strom ist, und dieselbe sogar überschreiten kann, so daß wir, bei elektrotherapeutischer Anwendung von zu starken Strömen an beiden Polen, intra- und extrapolar, eine gar nicht gewünschte und sogar schädliche Herabsetzung der Erregbarkeit hervorrufen können, mit der leider ein unerfahrener Arzt so oft zu tun hat.

Für das uns hier interessierende Thema bleibt aber wohl als wichtigste Erfahrung die, daß elektronische Veränderungen am Krankenbett von Belang sind, und daß eben die Kondensatormethode, auf Grund ihrer theoretischen Eigenschaften und auf Grund der obgenannten praktischen Erfahrungen, uns davor hütet, mit größeren Erregbarkeitsveränderungen unter dem Einflusse des reizenden Stromes kämpfen zu müssen. — Wie es auch sein mag, bleibt jedenfalls die Konstanz oder wenigstens die relative Konstanz der mit Kondensatormethoden untersuchten Erregbarkeit eine Tatsache, die ich unparteiisch seit Jahren gesehen und beschrieben habe und die von manchen Autoren nachgeprüft wurde. — Es ist auch kein Zufall, daß Cluzet in seiner neuesten Arbeit (18) über elektrobiologische Gesetze, die sich hauptsächlich mit dem Vergleich vom Koëffizient der Entladungsquantität und vom Koëffizient der Stromintensität beschäftigt, Zahlen angibt, die eben für meine alten Hypothesen sprechen. Verschiedene Nerven verschiedener Individuen und verchiedener Beschaffenheit zeigten bei ihm eine Erregbarkeit von 0·1—0·6 Milliontel Coulombs (Quantitätseinheiten der Kondensatorentladung), während die dazu erforderliche Stromintensität zwischen 700 und 1300 Milliontel Ampères (Intensitätseinheiten des konstanten Stromes) schwankten. Wir werden übrigens darüber im nächsten Kapitel näher sprechen, in welchem die Veränderungen des Widerstandes berücksichtigt werden. — Jedenfalls betonen wir aber schon in diesem Kapitel die erfreuliche Übereinstimmung vollkommen unabhängig durchgeführter neuer Versuche mit meinen älteren Äußerungen, aus denen ohne weiteres ersichtlich ist, daß die Erregbarkeit von gewissen kurzen Kondensatorentladungen beinahe gar nicht beeinflußt wird, oder wenigstens in viel kleinerem Maß, als vom konstanten Strom. — Je mehr wir uns durch Anwendung von großen Kondensatoren mit langer Entladungsdauer dem Charakter des konstanten Stromes nähern, desto mehr kann ein solcher Einfluß stattfinden, und ich habe deswegen seit Jahren dem Praktiker geraten, entweder große Kondensatoren als Vergleichsmethode anzuwenden, oder nur mit kurzen optimalen Entladungen die Erregbarkeit zu bestimmen, wie wir es übrigens noch betonen werden.

IX.

Nachdem wir uns überzeugt haben, daß die Kondensatorentladung uns in engeren Grenzen Normalwerte gibt und auch präzisere pathologische Befunde, ohne die Erregbarkeit zu beeinflussen, können wir zu den Widerstandsänderungen übergehen. Ich will gleich von vornherein daran erinnern, was wir schon in dem Kapitel über „Kapazität“ des menschlichen Körpers gesagt hatten, daß wir eigentlich mit einem

einfachen Widerstand nicht zu tun haben. — An allen isolierenden Grenzschichten, welche die Bestandteile der fibrillären Nerven und Muskeln trennen, geschehen nämlich ähnliche Prozesse wie an den Belegen eines Kondensators, wo die nicht gleichnamigen Ladungen sich gegenseitig durch das isolierende Dielektrikum anziehen, so wie elastische Kräfte einer Kautschukröhre. — Laut physikalischen Vergleichen von Maxwell (115) wäre ein solcher physikalischer Kondensator durch senkrechte und quere Linien der betreffenden Kräfte quasi in Zellen geteilt, deren eine jede, unter dem Einflusse des Stromes sich nicht so verhält wie ein konstantes Fließen, sondern wie eine Teilchenverschiebung, die von der dielektrischen Polarisation abhängig ist. — Verändert sich diese dielektrische Polarisation, so geschehen auch in der Verschiebung verschiedene Perturbationen. — Da glücklicherweise der menschliche Kondensator nicht eine sehr große Kapazität darstellt, können wir hier derzeit dieselbe bei Seite lassen und nur von Widerstandsveränderungen unter dem Einflusse von Kondensatorentladungen sprechen. — Was ich schon darüber veröffentlicht habe, will ich nicht ausführlich wiederholen, um so mehr, als meine Ergebnisse am Berner Kongreß von solchen Forschern wie Mann (63) und Cluzet (19) betont und wiederholt wurden und auch andererseits in äußerst exakter Weise von Mann nachgeprüft und bejaht. Letzterer hatte sofort gefühlt, daß die präzise Methode nur dann wahrhaftig praktisch sein wird, wenn sich auch wirklich bei Untersuchung desselben Nerven in derselben Sitzung stets das gleiche Resultat ermitteln läßt. — Unter seinen Protokollen finden sich solche, in welchen bei 10maliger Untersuchung des Nerven stets ganz genau derselbe Wert sich wiederholt, oder solche, in welchen sich ebenfalls an verschiedenen Tagen eine recht erfreuliche Übereinstimmung ergibt, oder endlich solche, in welchen nach 20—30 sehr starken Kondensatorentladungen die Minimalzuckung bei genau demselben Werte wie vorher gefunden wurde. — Wäre in allen diesen Fällen die Erregbarkeit der Nerven von der Kondensatorentladung selbst beeinflußt, so würde auch das Resultat der Erregbarkeitsbestimmung verändert; würde auch der Widerstand in irgend einer Weise schwanken, so müßte es, laut obigem, wenigstens derartig geschehen, daß doch diese Schwankung nicht dem Resultate der Erregbarkeitsbestimmung in merklicher Weise schadet, wonach wir eben in praxi streben. — Ich habe absichtlich Versuche fremder Autoren zitiert, welche die meinigen bejahten und nachprüften, um vollkommen unparteilich zu sein. — Der Widerstand wird also, kurz und gut, unter dem Einflusse der Kondensatorentladung selbst nicht oder wenigstens beinahe gar nicht verändert, was eben für die Konstanz der Methode bürgt. — Um

diese Tatsache zu erläutern, hatte ich in einer meiner ersten Arbeiten die Hypothese ausgesprochen (89—89) „daß Kondensatorentladungen, wahrscheinlich wegen ihrer kurzen Dauer die Größe des Widerstandes nicht beeinflussen, während der konstante Strom, insofern zur Untersuchung nicht das Gärtnersche Pendel angewandt wird, den Widerstand so verändert, daß die nächste Untersuchung mit Kondensatorentladungen caeteris paribus ganz andere Resultate ergibt." — Ich habe also dadurch sagen wollen, daß die kurze Dauer der Entladung den Widerstand der Nerven und des Körpers wenig beeinflußt und sonst kein Wort mehr. Aus meiner Äußerung haben jedoch einige Autoren den Schluß ziehen wollen, „daß doch der Widerstand der Haut auch bei Untersuchungen mit Kondensatorentladungen eine nicht unbedeutende Rolle spielte" (10), sobald durch Einwirkung eines galvanischen Stromes der Hautwiderstand so herabgesetzt wird, daß bei nachheriger Untersuchung mit dem Kondensator die Minimalzuckung bei einer anderen Spannung erreicht wurde (Bernh. S. 352) und daß deswegen es auch „nicht gelungen ist, Normalwerte für einzelne Nerven festzustellen." — Ich bin der bescheidenen Ansicht, daß hier wenigstens ein Mißverständnis zu Grunde liegt. — In den ersten Kapiteln haben wir ausdrücklich betont, daß die Kondensatorwirkung von verschiedenen Größen abhängig ist, unter welchen auch die Zeit der Entladung und der Widerstand des Leiters betont wurden, die eine solche Rolle spielen, wie bei dem Ausfluß der Flüssigkeit aus einer Flasche die Größe der Ausflußöffnung und die Breite des Ausflußröhrchens. — Die Kondensatorentladung unterliegt denselben physikalischen Gesetzen, wie alle elektrische Reize; sie ist keine wunderbare Ausnahme von den üblichen Regeln und muß, wenn sie warhaftig präzis ist, eben deswegen jede durch eine andere Ursache herbeigeführte Veränderung signalisieren und zur Kenntnis geben; sonst wäre sie ja noch weniger präzis und genau wie die anderen Methoden. — Die Kondensatormethode verursacht aber selbst keine solche Veränderungen, die uns jede Erregbarkeitsmessung bisher erschwerten und wir brauchen ja in praxi nicht „Normalwerte" an solchen Nerven herzustellen, wo wir mit dem konstanten Strom gewisse Wirkungen schon ausgeübt haben, sondern ganz reine Versuchsreihen mit ausschließlichen Kondensatorentladungen zusammenzustellen, von welchen wir soeben gesagt und gesehen haben, daß die Genauigkeit der Resultate während der Untersuchung dieselbe bleibt. — Mit anderen Worten gesagt, werden wir in einer Sitzung an demselben Individuum uns möglichst hüten, die Untersuchungsmethoden zu mischen oder wir werden wenigstens die Kondensatorentladungen früher anwenden, als andere Methoden, welche den Widerstand beeinflussen können.

Handelt es sich aber um verschiedene Individuen, so kann man selbstredend nicht behaupten, daß der Widerstand überall derselbe sein wird; wenigstens wird es bisher behauptet, es wäre anders. — Ob die verschiedenen Resultate wirklich von Schwankungen des Widerstandes abhängig sind oder vielleicht von den Methoden selbst, will ich hier nicht entscheiden. — Die klassischen Versuche von Dubois (39) haben uns wenigstens bewiesen, daß wir nicht immer mit dem allgemein anerkannten kolossalen und schwankenden Widerstande zu tun haben, sondern während der ersten variablen Periode mit einem kleinen, fixen Widerstande, dessen Wert für verschiedene Applikationsstellen in kleinen Grenzen schwankt (400—900 Ohms und nicht 1000—40000), aber für dieselbe Applikationsstelle beinahe konstant bleibt. — Interessant sind auch die Versuche von Schnyder (72), laut welchem bei gesunden Leuten der konstante Widerstand nur zwischen folgenden Zahlen schwankte:

für	zwischen	Nacken und Stirn:	von	370	bis	490	Ohms
„	„	Nacken und Hals:	„	340	„	750	„
„	„	Oberarm und Vorderarm:	„	360	„	500	„
„	„	beiden Hohlhände:	„	1500	„	1500	„
„	„	beiden Fußsohlen:	„	2000	„	2000	„

Für dieselben Applikationsstellen schwankt schon der Widerstand in der konstanten Periode zwischen größeren Grenzen und zwar:

zwischen	Nacken und Stirn:	von	521	bis	7333
„	Nacken und Hals:	„	608	„	14000
„	Oberarm und Unterarm:	„	634	„	5600
„	beiden Hohlhänden:	„	10578	„	37333
„	beiden Fußsohlen:	„	15802	„	12222

Die Zahlen der ersten Reihe stimmen ziemlich mit denjenigen, die Dubois für ganz andere Versuchspersonen beschrieben hatte (110, I. S. 11) und zwar:

vom	Handgelenk zum Vorderarm	=	400	Ohms
„	Handgelenk zum Arm	=	450	„
„	Handgelenk zum Nacken	=	600	„
„	Handgelenk zum Fuß	=	900	„
„	einen Fuß zum andern	=	900	„
„	einer Hand zur anderen	=	900	„

Sogar in den polemischen Arbeiten von Hoorweg und Dubois blieb diese Tatsache des kleinen, beinahe fixen Widerstandes unversehrt und obwohl Hoorweg in höchst wissenschaftlicher Weise erklärte, warum in den Versuchen von Dubois, Änderungen des Hautwiderstandes keinen

merklichen Einfluß auf die Erregung ausüben, leugnete er doch nicht, daß „für kurz dauernde Wirkungen der Widerstand des menschlichen Körpers ganz anders ist, als er mit Hilfe konstanter Ströme gefunden wird," und daß „für kurze Zeiten der Erregung der Hautwiderstand wohl nicht große Änderungen erleidet" (57, S. 63 und 64). Die Kondensatorentladung, welcher ich mich am Krankenbette bediente, ist nun eben eine solche kurz dauernde Wirkung und wenn wir uns daran erinnern, was wir in den ersten Kapiteln über die vom Produkt des Widerstandes und der Kapazität (RC) abhängige Entladungszeit gesagt haben, die auch eine wichtige Rolle in den neuesten elektrobiologischen Gesetzen spielt, so werden wir wohl verstehen, warum bei Anwendung von Kondensatorentladungen gewisser Größe und Zeitdauer der Normalwert für einen bestimmten Nerven bei verschiedenen Personen sich enger begrenzen läßt, wie mit den bisherigen Methoden. — Arbeiten wir nämlich mit demselben Kondensator, von derselben Kapazität C, so wird selbstredend dieses RC in sehr kleinen Grenzen schwanken, wenn auch der Widerstand R in den kleinen Grenzen des soeben erwähnten fixen Wertes schwankt; dies ist nun der Fall, wenn wir nur kurz dauernde Kondensatorentladungen wählen, die ich auch für die Praxis anempfohlen habe, im Gegensatz zu denjenigen Forschern, welche mit großen Kondensatoren arbeiten, die zwar kleine Stromspannung erfordern, aber sich sehr langsam entladen. Dies ist der einzige Sinn meiner alten Äußerung, daß „in der Periode der von mir gebrauchten Kondensatorentladungen, der Widerstand bei verschiedenen Leuten in frappanter Weise konstant zu sein schien (89, S. 15)."

Der Widerstand, den die menschlichen Gewebe der kurzen Kondensatorentladung in den Grenzen der klinischen Verwertbarkeit bieten, scheint mir gewissermaßen jenem faradischen Widerstand ähnlich zu sein, von welchem Mann seiner Zeit in seiner äußerst interessanten Inaugural-Dissertation (1889, S. 20) geäußert hatte, daß „die relativ dünne Schicht der den galvanischen Strom so außerordentlich schlecht leitenden Epidermis für faradische Ströme keinen Widerstand darstelle, weil sie von ihm gleichsam übersprungen werde, so wie etwa der Funke einer Leydener Flasche eine nichtleitende Schicht durchschlägt, — oder daß wenigstens der Widerstand, den die Epidermis für den faradischen Strom repräsentiert nicht größer wie der einer gleich dicken Schicht feuchten Gewebes, also ganz verschwindend gering wäre, während er doch für galvanischen Strom ungleich viel bedeutender ist." — In der ersten Hälfte der obgenannten Hypothese liegt eben das Material zu einer Brücke zwischen faradischem Widerstand und Kondensatorwiderstand, zwischen Überspringen

des Funkens einer Leydener Flasche und Verhalten des Kondensators, der doch auch eine Summme von kleinen Leydener Flaschen bildet. — In der zweiten Hälfte der obgenannten Hypothese liegt eine nicht so weit gehende und doch vollkommen reelle und plausible Vermutung, dieser Widerstand der Gewebe wäre doch für gewisse Stromarten quasi ein ganz anderer; es gibt sogar eine Analogie zwischen meinem alten Ausdruck (89) über „frappante Konstanz des geringen Widerstandes für Kondensatorentladungen" und dem Ausdruck von Mann (62) über „frappante Verschiedenheit, welche wir in der Wirkung der Körperwiderstände auf den faradischen Strom einerseits und den galvanischen andererseits konstatiert haben."

Ich kann zuletzt bei dieser Gelegenheit nicht verschweigen, daß laut neuesten elektrobiologischen Untersuchungen von Cluzet (18, S. 110 bis 111), die auf unabhängigem physikalischem Wege gewisse klinische Beobachtungen meiner älteren Arbeiten bestätigen, bei allen Nerven der Menschen, deren Widerstand zwischen 3200 und 1600000 Ohms schwankte (!), ein konstantes Verhältnis von ca. 0·0002 zwischen dem Koëffizienten der Entladungsquantität, die zur Hervorrufung einer minimalen Zuckung erforderlich war (0·1—0·6 mikro-Coulombs) und dem analogischen Werte des betreffenden konstanten Stromes (700—1300 mikro-Ampères) konstatiert wurde. — Bei diesen kolossalen Differenzen des Widerstandes waren also die mit dem Kondensator ermittelten Werte so konstant und schwankten in viel kleineren Grenzen wie diejenigen des üblichen konstanten Stromes. Es sei nebenbei erwähnt, daß die Regeln von Cluzet eben beim Menschen für diejenigen Grenzen der Kondensatorentladungen vollkommen richtige Ergebnisse liefern, welche ich eben seit Jahren in der Praxis zu verwerten rate und als „Optimalentladungen" bezeichnet habe.

Wenn unter dem Werte von 0·1 mikro-Farad (Cluzet 18, S. 99) Cluzet immer für den Medianus des Menschen, laut seinen Formeln, den konstanten Wert des Reizes auf 0·1—0·6 mikro-Coulombs (d. h. auf 0·000001—0·000006 Coulombs) ermittelte, trotz Schwankungen des Widerstandes von dreitausend bis anderthalb Millionen Ohms, wenn er dieselben Werte aus verschiedenen Zahlen anderer Forscher in äußerst interessanter Weise deduzierte und wenn ich vor Jahren in umgekehrter Weise geäußert hatte, daß bei Anwendung von Optimalentladungen (beiderseits von 0.03 mikro-Farads) der Widerstand keinen merklichen Schwankungen unterliegt, so ist wohl diese Coïncidenz der Theorie und der Praxis nicht zufällig. — Ich sehe und sage seit 1899, daß für „gewisse" kleine und kurze Kondensatorentladungen der Widerstand quasi keinen

Einfluß ausübt und Cluzet sagt im J. 1905, daß bei großen Schwankungen des Widerstandes der Wert „gewisser“ Kondensatorentladungen doch derselbe bleibt. Liegt es nun nicht auf der Hand, daß der Praktiker diese „gewisse“ Optimalentladungen ohne weiteres brauchen kann und ohne sich am Krankenbett darum zu kümmern, was vom theoretischem Standpunkte aus jenseits dieser Grenzen der klinischen Verwertbarkeit und der praktischen Konstanz der Werte mit den an und für sich wichtigen elektrobiologischen Gesetzen der Erregung geschieht.

Es gibt aber noch einen kleinen Vorwurf, der der Kondensatorentladung gemacht wurde. Diejenigen Forscher, welche durch verschiedene Durchfeuchtung der Haut und der Elektroden die Untersuchungsbedingungen variiert hatten, haben bei der Nachprüfung meiner Resultate gefunden, daß die individuelle Hautbeschaffenheit „zwar das Resultat der Untersuchung beeinflußt, aber doch nicht in dem Maße, wie es bei den bisher üblichen Methoden der Fall ist“ (Mann, S. 19). Ich will nun betonen, daß, laut meinen Versuchen, dieser Einfluß der Durchfeuchtung desto größer ist, je größere Kondensatoren wir brauchen und je mehr wir uns dem konstanten Strom dadurch annähern; je kleiner aber der Kondensator ist und je kürzer seine Entladungskurve, desto mehr sind wir jener kurzen faradischen Erregung nahe, von welcher Mann gesagt hatte (625, S. 23) auf Grund seiner Versuche an enthäuteten Leichen, daß „die Differenzen zum ganz überwiegenden Teil auf der verschiedenen Leitungsfähigkeit der Epidermis beruhen, welche aber gerade für den faradischen Strom nicht in Betracht kommt“. — So wie auch Mann (62) gesagt hatte, „wir könnten aus der einfachen Vergleichung der Rollenabstände ohne Berücksichtigung des Leitungswiderstandes die faradische Erregbarkeit vollständig korrekt beurteilen,“ — so behaupte ich, daß diejenige kurze Kondensatorentladung, die ich als klinische Optimalentladung genannt habe, uns korrekte, beinahe vollkommen konstante Werte der Erregbarkeit liefert, welche in sehr geringen Grenzen vom Widerstand und von den durch Durchfeuchtung verursachten Untersuchungsbedingungen beeinflußt wird. Ürigens sind nach neuesten Erwägungen von Leduc (60B, S. 402. 1905) die bisherigen Ansichten über den Wert der Hautdurchtränkung und Durchblutung „eine Theorie, welche die Erfahrung durchaus widerlegt“ und es sollen auch die Veränderungen der Hautbeschaffenheit hauptsächlich von der Schnelligkeit der chemischen ‚Jonenwanderung“ abhängig sein, für welche wiederum die Menge der in der Zeiteinheit abfließenden Elektrizität maßgebend ist. — Je kürzer die Stromeswirkung ist, desto weniger kommen Veränderungen der Hautbeschaffenheit in Betracht, was wir sowohl bei Anwendung der Konden-

satorentladung, als auch gewissermaßen des Gärtnerschen Pendels und der Duboisschen Kugel (für konstante Ströme) oder des Schlitteninduktoriums von Du-Bois-Reymond (für faradische Ströme) genau merken können; die billige und handliche Kondensatorentladung hat aber doch gewisse Vorzüge, wie z. B. die Eichung in genauem Maße, die leichte Berechnung der Entladungsdauer, die Übertragbarkeit einer ganz einfachen Platte, welche wir selber verfertigen und approximative eichen können, endlich die Möglichkeit, jene streng wissenschaftlichen, modernen „Koëffizienten der Erregung" zu berechnen, welche für den Fortschritt der theoretischen Wissenschaft und der Lehre über klinische Veränderungen der Erregbarkeit und Umkehrung der üblichen Zuckungsformel von so hohem Belang sind.

X.

Nimmt irgend eine Ursache in einer gewissen Progression zu, so muß der biologische Effekt derselben, wie bekannt, nicht in demselben Maß wachsen. — Es kann aber außerdem überhaupt eine Grenze vorhanden sein, jenseits welcher die Vergrößerung der Ursache entweder keinen größeren Effekt zur Folge hat, sondern einen kleineren, oder überhaupt keinen. — Im ersten Fall drücken wir diese Progression in „bildlicher" Form zwei gerader Linien, die zwar nicht parallel verlaufen, jedoch immer höher steigen und uns versinnlichen, wie gleichzeitig Ursache und Folge derselben wachsen. — Im zweiten Falle aber ist es leicht verständlich, daß, während die gerade Linie der Ursache fortwährend wächst, der biologische Effekt zuerst gradlinig verläuft, wie im vorigen Beispiel, dann aber eine entgegengesetzte Richtung nimmt, so daß die gerade Linie zu einer krummen wird, die wir auch die Kurve des betreffenden Vorganges nennen. — Es hat Frl. Joteyko in einer ihrer letzten Arbeiten (58 B) betont, daß Naturforscher und Ärzte nicht immer den Verlauf dieser mathematischen Kurven berücksichtigen und es ihnen manchmal scheint, daß jeder biologische Vorgang quasi geradlinig verläuft. Ich muß einerseits die Ärzte in Schutz nehmen, da in praxi manchmal eben nur ein Teil dieser Kurve in Betracht kommt, welcher aus praktischen Zwecken als beinahe geradlinig angesehen werden kann, so wie z. B. die mannigfaltigen komplizierten Veränderungen der Temperatur, von denen in praxi nur die kleinen Grenzen von 36°—40° berücksichtigt werden. — Andererseits ist es aber doch wahr, daß manchmal vollkommen verschiedene Ursachen verglichen werden, ohne zu berücksichtigen, daß eine scheinbar kleinere Ursache unter gewissen Bedingungen einen größeren Effekt hervorbringen muß. — Dies gilt in erster Linie von elektrischen Reizen, mit Hilfe deren wir biologische Effekte hervorrufen und von Kondensator-

entladungen, deren Anwendung den Hauptinhalt der vorliegenden Mitteilung bildet. — Wenn wir nämlich unter vollkommen gleichen Versuchsbedingungen, um die gleiche minimale Zuckung desselben Muskels hervorzurufen, verschiedene Kondensatoren mit verschiedenen Stromspannungen laden, so erhalten wir vollkommen verschiedene Zahlen, aus welchen wir nicht in oberflächlicher Weise ermitteln können, ob in diesen Reihen die Elektrizitätsmenge oder die Energie oder ein anderer Faktor die wichtigste Rolle spielen. — Wenn wir jedoch mit Aufmerksamkeit, in einer gewissen Reihenfolge, verschiedene immer kleinere Kondensatoren derartig laden, um immer dieselbe minimale Zuckung hervorzurufen, so können wir leicht merken, daß wir immer stärkere Stromspannungen brauchen werden, je kleiner der Kondensator ist, jedoch nicht über denselben Wert der Ladung in jedem Falle verfügen. — Je mehr nämlich die Kapazität des Kondensators sich vermindert und in entsprechender Weise die Stromspannung wächst, desto mehr vermindert sich auch der durch Multiplikation der Spannung und Kapazität (laut Formeln der ersten Kapitel) berechnete Wert der Ladung, bis zu einer gewissen Grenze, bleibt dann für „gewisse“ Kondensatoren fast auf derselben Höhe stehen, um wieder für kleinere Kondensatoren zu steigen. — Wollen wir dieses Verhalten bildlich vorstellen, so ist es leicht verständlich, daß demselben nicht eine gradlinige, sondern eine krumme Kurve entspricht, die, laut obgesagtem, abnimmt, an einem gewissen Punkte sich umbiegt und dann wiederum wächst. — An demjenigen Punkt, wo sie sich umbiegt, wo die Ladungen fast auf derselben Höhe stehen, sind sie auch minimal, und da vor diesem Punkt und nach diesem Punkt die Entladungen trotz größerer Stärke doch dieselbe Minimalzuckung hervorrufen, können wir auch dieses Minimum als Optimum bezeichnen, die minimale Ladung als optimale, oder eine solche, welche bei kleinstem Energieverlust doch denselben Erfolg bewirkt, wie größere, gewissermaßen unnützliche Ladungen. — Nach der bisher angenommenen Ansicht von Du-Bois-Reymond, daß der elektrische Strom den Nerv infolge eines momentanen Wechsels der Intensität reizt und daß, je rascher dieser Wechsel in der Zeit verläuft, desto stärker der Strom reizt, wäre also zu schließen, daß, je kleiner der verwendete Kondensator ist, er infolge seiner immer größeren Geschwindigkeit der Entladung stärker reizen solle, als größere Kondensatoren. — Indessen belehrt uns die Erfahrung, daß die Sache sich eigentlich laut obgenannten Gesetzen anders verhält, und daß es für Menschennerven eine optimale Entladung gibt, welche mit kleinstem Energieverlust die minimale Zuckung hervorruft. — Dieses Optimum wurde von Hoorweg (48) im Jahre 1892 „am menschlichen Körper (Kathodenzuckung)“

bewiesen und ich erwähne hier sofort die Zahlen dieses berühmten Forschers, um durch Beispiele die ganze Sache besser zu erläutern. — Wenn wir, der Reihe nach, zur Hervorrufung einer Minimalzuckung, Kondensatoren von folgender Kapazität brauchen:

0·5, 0·1, [0·05], 0·02, 0·01, 0·008, 0·005, 0·004 mikro-Farads,

so müssen wir dieselben mit folgenden Spannungen oder Stromstärken laden:

4·5, 7, 9, 16, 27, 33, 50, 60 Volts.

Die laut mathematischen Formeln (siehe Kapitel II) berechnete Energie dieser verschiedenen Entladungen beträgt:

50·6, 24·5, [20·25], 24·6, 36·4, 43, 62·5, 72 Ergs.

Wir ersehen also aus diesem „am menschlichen Körper" durchgeführten Versuche, daß für dieselbe Minimalzuckung eine minimale, optimale Energie, beim Kondensator von 0·05 verbraucht wurde, und daß dies- und jenseits von diesem Werte Vergrößerung der Stromstärke und der Entladungsenergie quasi nutzlos war, nachdem immer dieselbe Zuckung hervorgerufen wird. — Dieses „am Menschennerv" beobachtete Verhalten habe ich nun in der Klinik an einer Reihe von gesunden und kranken Menschen seit Jahren untersucht und bin zur Schlußfolgerung gekommen, daß „eine Kapazität von 0·01—0·03 respektive 0·05 mikro-Farads die vorteilhafteste für die Praxis ist," im Gegensatz zu denjenigen Verfassern, welche früher einen ganzen mikro-Farad zu verwerten geraten haben. Meine Zahlen von 1899 (89) zeigten z. B., daß für folgende Kapazitäten:

1·5, 1, 0·3, 0·16, 0·05, 0·02, 0·01 mikro-Farads

die Entladung folgende Energiemengen enthält:

3·960000, 3·920000, 1·350000, 768000, 324000, 160000, 176000 Ergs

und also bei einer Kapazität von 0·02 die vorteilhaftesten Bedingungen des Versuches erfüllt sind. — Ich habe auch diese klinischen Zahlen mit den alten Angaben von Dubois (39) verglichen, der nur Elektrizitätsmengen in Coulombs angegeben hatte, dessen Zahlen uns aber erlauben, auch die Energie zu berechnen; ich habe damals gefunden, daß bei Anwendung folgender Kondensatoren:

7, 9, 11, 14, 18, 27 und 70 mikro-Farads. 10^3,

die Dubois mit folgenden Spannungen geladen hatte:

56, 49, 42, 35, 28, 21, 14 Volts,

folgende Energiemengen sich berechnen lassen:

109·7, 108, 97, 85, 70, 69, 68·6 Ergs

und das Optimum, sowie in unseren Versuchen zwischen Kapazitäten von ca. 0·018—0·027 mikro-Farads.

Auch verdankte ich der freundlichen privaten Mitteilung von Prof. Waller aus London, der sich zufälligerweise in Wien im J. 1888 befand, als ich meine klinischen Versuche durchführte, einige wichtige Zahlen. — Dieser berühmte Forscher benützte ganz unabhängig von mir und zu einem anderen Zwecke Entladungen von 1000 Ergs; er variierte dabei, nicht wie ich die Spannungen und die Kapazitäten, sondern die Kapazitäten eines genau geteilten Kondensators bei derselben Spannung und erhielt doch dasselbe Optimum der Entladung bei ca. 0·02 mikro-Farads. — Diese erfreuliche Coïncidenz hatte auch meine klinischen Ratschläge begründet.

Wenn ich heute, nach so vielen Jahren, die neueste wichtige elektrobiologische Arbeit von Cluzet lese, so finde ich wiederum, unter einer Menge von polemischen Tatsachen und Theorien, dieses alte Verhalten der Energie. — Außer Versuchen, die den soeben erwähnten ähnlich sind, finde ich noch Tabellen von Weiss, Hoorweg, Dubois und Waller, welche diese Ansichten begründen und optimale Energiezahlen, die, bei verschiedenen Forschern, den konstanten Grenzen von 0·02—0·05 mikro-Farads wiederum entsprechen. — Diese Übereinstimmung so vieler Forscher und so vieler Fälle kann doch unmöglich zufällig sein (!). Sie hat ihren Grund in wichtigen biologischen Eigenschaften der gereizten Gewebe und in physikalischen Eigenschaften des reizenden Stromes, deren Verhältnis von verschiedenen „Gesetzen der Erregung“ näher bestimmt wird, die später zur Besprechung gelangen. Während aber eben diese, an und für sich wichtigen Gesetze der Neuzeit, noch auf polemischem Fuße untereinander stehen und dem Praktiker einen Entschluß schwierig machen, bleibt doch seit Jahren die Tatsache der optimalen Energie unversehrt, so wie im bekannten Streit zwischen Anhängern der Voltaïsation und Galvanisation die Tatsache der geringen Widerstandsveränderung unter dem Einflusse von kurzen Stromstößen auch unangefochten blieb, wie wir es übrigens schon in dieser Mitteilung mehrmals zu betonen Gelegenheit hatten. — Wenn wir uns nun in dieser Sturm- und Drangperiode verschiedener Ansichten an diejenige Säule halten wollen, welche seit Jahren von niemandem umgeworfen wurde, so wird es wohl verständlich sein, warum ich mich in der Praxis mit solcher Konstanz und Beharrlichkeit an die Konstanz der „optimalen klinischen Kondensatorentladung“ halte.

Ich lasse beiseite eine kleine Polemik, die seiner Zeit in einer meiner früheren theoretischen Arbeiten zwischen Hoorweg und mir entstanden war, umsomehr als die erwähnte Arbeit nicht ausschließlich von meiner Feder stammte, und als ich hier nur die praktische Ver-

wertbarkeit einer klinischen Methode bespreche. — In voller Anerkennung der obgenannten Arbeit von Hoorweg von 1892 (48) und zwar seiner Ansichten über das „am Menschennerv“ beschriebene Verhalten der Energie, habe ich auch diesen allgemeinen Ausdruck zu erweitern versucht und die theoretischen Gesetze in die Praxis einführen wollen, wie es eine Reihe meiner klinischen Arbeiten beweisen. — Ohne hier darüber zu sprechen, wie und warum sich die Elektrizitätsmenge der Kondensatorentladung (Coulombs) im Verhältnis zu dem soeben geschilderten Verhalten der Energie (Ergs) benimmt, betone ich nur meine alte praktische Schlußfolgerung, daß als „vorteilhaftester“ Reiz derjenige der optimalen Entladung (0·01—0·05 mikro-Farads) anzusehen ist, oder, mit anderen Worten, derjenige, der die minimale Energie zur Hervorrufung der Minimalzuckung verbraucht, in welchem Maß er auch ausgedrückt ist. Die Energie gibt uns also die Grenzen des optimalen Reizes, nicht dessen unbedingten Wert und ich muß hier energisch dagegen protestieren, wie es hie und da im falschen Lichte vorgestellt wurde und zwar bei denjenigen Autoren, die nur meine ältesten theoretischen Arbeiten (Cybulski und Zanietowski, Pflügers Archiv, Bd. 57) kennen und daraus schließen wollen, ich hätte die Energie der Ladung als Maß der Erregung (!?) angegeben, während doch ausdrücklich in Pflügers Archiv erwähnt wurde: „um die innere und äußere Energie der Zuckung mit der Energie des Reizes vergleichen zu können, haben wir aus rein praktischen Gründen den Reiz in Einheiten der Energie ausgedrückt, ohne jedoch es zu vermeiden, die physiologischen Effekte auch mit dem Zuwachs der Polspannung, Quantität usw. zu vergleichen.“ — In späteren selbständigen klinischen Arbeiten meiner Feder hab' ich vom allerersten Anfang betont, daß „ich verzichte darauf einzugehen (88—89), ob die Wirkung der Kondensatorentladungen von der Energie oder von einem anderen Faktor abhängig ist und nur die Tatsache einer optimalen Entladung bei einer Kapazität von ca. 0·03 mikro-Farads in den Vordergrund bringen will“. — In allen meinen weiteren zweiundzwanzig klinischen Arbeiten habe ich sogar absichtlich nur Spannung und Kapazität angegeben, um ähnliche Vorwürfe zu vermeiden und habe in einer Reihe von mannigfaltigen klinischen Versuchen die Entladung meines Optimalkondensators mit dem konstanten Strom verglichen, um teilweise die Konstanz der ersteren zu beweisen, teilweise wiederum das Verhältnis der beiden zu untersuchen, dessen numerischen Wert wir später besprechen werden. — Die Energie der Entladung kam nur insofern in Betracht, als ich aus praktischen Gründen denjenigen Kondensator zu laden geraten habe, der die kleinste Energie zur Hervorrufung einer Minimal-

zuckung verbraucht, nicht aber diese Energie als **Maß** angegeben habe, wie es indirekt falscher Weise von einigen Autoren wiederholt wurde. Übrigens betone ich, um weiteren Mißverständnissen vorzubeugen, was ich schon im J. 1899 gesagt habe (89): „Obwohl in allen meinen klinischen Versuchen verschiedene Kondensatorkapazitäten angewandt wurden und angewandt werden können, habe ich meistens weder zu kleine gewählt, bei welchen zu viele Elemente notwendig waren, noch zu große, bei welchen vielleicht ein Verlust der Energie wegen zu flacher Abfallskurve der Entladung möglich wäre. — Den Reiz habe ich auch bloß in Volts (Spannung) angegeben, damit der Leser aus denselben und der erwähnten Kapazität (mikro-Farads) des Kondensators nach Belieben die Energie oder die Elektrizitätsmenge berechnen könne.“ — Der Ausdruck „nach Belieben“ ist doch der beste Beweis, ob ich die Energie als **Maß** vorgeschlagen habe und ich wiederhole heute, nach vielen Jahren denselben Satz in seiner vollen Bedeutung, dem Praktiker die Berechnung der Entladung laut Formeln, die in den ersten Kapiteln erwähnt wurden „nach Belieben“ überlassend. — Es sind aber praktische Gründe, die für gewisse Zwecke für eine Wahl gewisser Kondensatoren sprechen und wir werden diese Gründe genau erst dann verstehen und würdigen können, wenn wir die besprochene Tatsache der „optimalen Entladung“ berücksichtigen.

Kurz und gut, rate ich, weder zu kleine Kondensatoren zu brauchen, die eine ebensogroße Energie verbrauchen wie die großen, noch zu große, welche sich langsam entladen und mehr dem konstanten, Erregbarkeit und Widerstand beeinflussenden Strom ähnlich sind, sondern sich an das „medium tenere beati“ zu halten. — Eben deswegen sind große Kondensatoren, wie ein mikro-Farad zu vermeiden, da von denselben gesagt wurde, daß „bei Anwendung eines mikro-Farads die minimale Zuckung bei gleicher Elementenzahl wie der galvanische Strom hervorgerufen wird“ (siehe z. B. Dubois 88). — Schon in diesem Ausdruck liegt die Ähnlichkeit mit dem konstanten Strom und wir haben gesehen, daß Widerstandsveränderungen, Erregbarkeitsveränderungen, Durchfeuchtungsveränderungen von desto kleinerem Belang sind, je mehr wir uns von dem Charakter des konstanten Stromes entfernen und uns an die optimale, minimale, kurz dauernde Entladungsenergie nähern. — Übrigens sind auch Kondensatoren von obgenanntem Werte klein, handlich und billig, lassen sich sogar eigenhändig aus einigen genau zu isolierenden Glimmerplatten verfertigen und ohne physikalische Apparate approximative eichen, während große Glimmerkondensatoren teuer sind und ganz kleine eine viel zu große Elementenzahl erfordern, ohne jedoch dadurch an Energie zu ersparen. Das Obgesagte beruht also nicht auf Starrsinn und Eigendünkel,

sondern auf physikalischen Regeln, biologischen Eigenschaften und praktischen Tatsachen und ich bin sicher, daß auch der Verfasser der jüngsten Arbeit über Kondensatorentladungen, Prof. Bernhardt (16) zu seinen äußerst strikten und reellen Beobachtungen, die mich so sehr erfreut haben, die Bemerkung hinzufügen wird, es wäre die Methode, mit Berücksichtigung obgenannter Einzelheiten, doch nicht teuer, sogar billiger als der Gärtnersche Pendel und außerdem sehr präzis in den zur Praxis verwertbaren Grenzen.

Wenn wir zuletzt durch eine einfache Zeichnung alle Zahlen verschiedener Autoren graphisch versinnlichen wollen, so erhalten wir eine Reihe von krummen Linien, die aus verschiedenen, den verschiedenen Werten entsprechenden Höhen langsam herabfallen, um, wie gesagt, an dem Punkt der optimalen Energie sich umzubiegen und wieder zu wachsen. — Diese Stellen, wo alle Kurven sich umbiegen, sind so aneinander genähert und alle Linien so einem Sterne ähnlich, dessen Strahlen gegen ein gemeinsames Zentrum laufen, daß wir ohne weiteres uns für dieses optimale Zentrum zu entschließen Lust haben, wo so kleine Differenzen bei verschiedenen Autoren vorhanden sind und wo der Vergleich verschiedener Versuche so erleichtert ist. Es ist aber eigentlich für den Praktiker gleichgültig, ob er den Wert dieser optimalen Entladung in Energieeinheiten (Ergs) oder Quantitätseinheiten (Coulombs) berechnet, oder nur, wie ich es bisher getan habe, die Spannung und Kapazität angibt, aus welchen weiteres von Jedem berechnet und kontrolliert werden kann.

Um bei Gelegenheit den Vorwurf zu vermeiden, warum ich, sobald der Optimalkondensator von 0·01—0·03 resp. 0·05 mikoro-Farads so gut sein soll, in meinen Apparaten doch einen ganzen mikro-Farad manchmal eingeschaltet habe und derselbe sich sogar in dem letzten Apparat nach Mann und Zanietowski (64) neben einem zweiten Kondensator befindet, will ich nur kurzweg hier antworten, da die ganze Sache eigentlich in dem nächsten Kapitel über Erregungsformeln besser hineinpaßt. — Der ganze mikro-Farad ist in der Klinik bequem, und ist auch jedenfalls präziser als eine einfache Stromschließung, da er ähnliche Werte, wie der konstante Strom geben soll und doch den Begriff einer bekannten Schließungszeit einführt. — Ich habe aber denselben für präzise Messungen nie allein gebraucht, sondern überall mit einem anderen Kondensator von kleinerem Werte, wodurch sich eben unsere Apparate von anderen unterschieden und worüber ich auch öfters mit Erstaunen interpelliert wurde. — Dies hatte einen Vergleich der besprochenen „Optimalentladung" mit dem konstanten Strom, respektive mit der approximativen „Maximalentladung" zum Zweck, die vielleicht für die alltägliche Praxis nicht von so hohem Belang ist, jedoch dem Vergleiche

der „Anfangserregung“ und des „Extinctionskoëffizienten“ der neuen elektrobiologischen Theorien so verwandt ist. — Darüber werden wir auch im treffenden Kapitel der elektrobiologischen Gesetze sprechen und betonen hier nur bei Gelegenheit Zweck und Ziel einer solchen Anordnung, um, wie gesagt, den Vorwurf zu vermeiden, warum ich manchmal einen mikro-Farad gebraucht habe, wenn meine Optimalkondensatoren doch so gute Dienste geleistet haben.

Zum Schluß dieses Kapitels will ich eine neue Hypothese betonen, die ich nirgends, wenigstens in der mir zugänglichen Literatur gefunden habe. — Wir haben nämlich gesehen, daß der Körper eine gewisse Kapazität repräsentiert, die von den meisten Forschern vollkommen vernachlässigt wurde, von anderen berücksichtigt, aber gar nicht numerisch verwertet oder derartig in Rechnung gezogen wurde, daß sie aus der mathematischen Vergleichsformel herausfiel. — Wir haben auch gesehen, von welchen Umständen, nach meinen letzten Versuchen der Wert dieser Körperkapazität abhängt und worauf die Differenzen, welche wir bei verschiedenen Autoren, die sich hie und da damit beschäftigt haben, finden, beruhen. — Ist es nun ein Zufall, daß die Grenzen dieser gereizten Körperkapazität in denselben Grenzen schwankt, wie diejenigen der reizenden optimalen Kondensatorkapazität, die wir im vorliegenden Kapitel besprochen haben, oder auch kein Zufall? — Haben wir nicht den Eindruck, als ob die Flasche, welche, laut unseren Vergleichen, in eine andere Flasche hineingegossen wird, dann am besten oder mit größtem Nutzen verwertbar ist, wenn sie dieselbe Größe besitzt wie diejenige, in die sie sich entleert? Ist sie zu klein, so muß sie öfters gefüllt werden, um die größere zu füllen; ist sie zu groß, so geht ein Teil der Flüssigkeit verloren und bleibt in der ersten Flasche stecken, bis sich die zweite teilweise durch die Ausflußöffnung entleert hat, wodurch der ganze lange Entleerungsprozeß der langsamen Entladung eines großen Kondensators ähnlich ist. — Dies sind wiederum grobe und vielleicht nicht vollkommen reelle Vergleiche, jedoch möchte ich eine bisher nicht berücksichtigte Tatsache betonen und bildlich erläutern, welcher vielleicht doch etwas wichtigeres zu Grunde liegt. — Wenn in dem obgenannten Versuche von Dubois die optimale Entladung der Kapazität von 0·018 mikro-Farads entspricht, bei Hoorweg derjenigen von 0·05, bei den von Cluzet zitierten Beispielen den Werten von 0·05, 0·023, 0·031 mikro-Farads, bei Waller dem Wert (vide 18) von 0·05 und in allen meinen zahlreichen klinischen Versuchen an normalen und kranken Menschen den Werten von 0·01—0·03, respektive 0·05 mikro-Farads und wenn wiederum andererseits die Kapazität des Körpers selbst, laut ver-

schiedenen Autoren, zwischen den Werten von 0·002—0·165 schwankt, so ist, wie gesagt, diese Coïncidenz, wohl nicht zufällig und es spielt vielleicht doch die wenig berücksichtigte Eigenschaft der Körperkapazität nicht eine so minderwertige biologische Rolle.

Die Verwendung von optimalen Kondensatoren mit minimalem Verbrauch der Energie wäre also nicht nur wegen Billigkeit, Entladungszeit usw., sondern auch wegen Affinität mit dem entsprechenden Werte der Körperkapazität in der alltäglichen Praxis von Nutzen und von Belang, wobei ich jedoch nochmals zum Schlusse wiederhole, daß, für theoretisch-wissenschaftliche Berechnungen, der Vergleich von wenigstens zwei Kondensatoren, oder vom Optimalkondensator mit dem konstanten Strom unentbehrlich ist, was auch im letzten Kapitel, der Reihe nach, zur Besprechung kommt.

XI.

Das letzte Kapitel der vorliegenden Mitteilung will ich den neuesten Anschauungen über einige Vorgänge der Elektrizitätsleitung im lebenden Gewebe und den modernen Gesetzen der Erregung widmen. Ich werde hier hauptsächlich nur das Verhältnis derselben zum Inhalt der früheren Kapitel und zu den Ergebnissen meiner neuen und bisherigen Arbeiten über die Kondensatormethode berücksichtigen; es muß jedoch hie und da mir eine Abschweifung gestattet werden, da es ja immerhin besser ist, etwas Überflüssiges zu bringen, als Fragen des Lesers unbeantwortet zu lassen. Das Thema der Erregungsvorgänge und Erregungsgesetze ist so breit und so mannigfaltig, außerdem noch in einigen Einzelheiten so schwerverständlich und, was die betreffenden Literaturquellen anbelangt, so unzugänglich, daß der Studierende und der praktische Arzt sich häufig unklare oder sogar falsche Vorstellungen von denselben machen und ihre Kenntnis ausschließlich den fachwissenschaftlichen Forschern überlassen. Durch diese Schwierigkeit, dem Verständnis der elektrischen Wirkungen im Körper näher zu kommen, ist wohl auch die Tatsache zu erklären, daß die neuen Methoden und Gesetze der Elektromedizin zu den wenigst erklärten und meist umstrittenen der ganzen Heilkunde gehören. Andererseits läßt es sich aber nicht leugnen, daß die fachwissenschaftlichen Forscher neuerdings in eine derartige Polemik geraten sind, daß der Praktiker schwerlich einen Wegweiser finden kann. Wenn in der neuesten Literatur darüber nachgesucht wird, findet man, daß z. B. Weiß die Erregungsformel von Hoorweg als „notwendige Folge seines Naturgesetzes" benennt (82), während Hoorweg im Gegenteil der Formel von Weiß den Namen eines allgemeinen Naturgesetzes verweigert (47); andererseits findet Fr. Lapicque

(60), daß die Erregungsformel von Weiß sich nicht in exakter Weise den Kondensatorentladungen anpassen läßt, und führt für gewisse Fälle Korrekturen ein, während Cluzet die Schlußfolgerungen von Fr. Lapicque kritisiert und als solche bezeichnet, welche auf doppelter Hypothese beruhen (66); es soll nur das Gesetz von Weiß exakt sein. Trotz dieser Polemik besprechen eigentlich alle Gesetze verwandte Tatsachen, und zwar die Abhängigkeit der Erregbarkeit nicht vom absoluten Wert des Stromes, sondern von gesonderten Koëffizienten dieses Wertes, sodaß ein gewisser Wert sowohl von einem hohen Koëffizienten x und von einem kleinen y, als auch umgekehrt, abhängen kann. Wir werden im Laufe des Textes darnach trachten, die Bedeutung dieser Koëffizienten in zugänglicher Weise zu erläutern, den Ursprung ihres Namens und ihr Verhältnis zu den Tatsachen der praktischen Beobachtung, endlich die Berechnungsweise derselben kurzwegs zu beschreiben. Wir können hier nur so viel von allen Methoden sagen, daß nirgends eine Messung irgend eines absoluten Wertes vorgenommen wird, sondern mindestens zwei Reihen von solchen Messungen, nachdem wir nicht eine Unbekannte, sondern zwei Unbekannten, quasi zwei Spaltungsprodukte des üblichen Stromwertes haben. Durch übliche Kombinationsmethoden oder Addition und Subtraktion[1]) werden überall diese gesonderten Koëffizienten laut algebraischen Regeln ausgesucht, und wir werden trachten, das Verhältnis derselben zu den praktischen Beobachtungen zu erklären, obwohl der Ausdruck von Koëffizienten in Zahlen, die eigentlich keine Einheiten bedeuten, scheinbar weniger plausibel ist, und obwohl sogar bedeutende Forscher, wie Ziehen und Boruttau (118), die allgemeine Gültigkeit von Erregungsgesetzen bezweifelt haben. Wir werden darnach trachten, wie gesagt, die Bedeutung und das Verhältnis dieser Gesetze und Koëffizienten kurzwegs zu beschreiben, im Wald der mathematischen Formeln jene Bäume markierend, an welche sich der Arzt in der alltäglichen Praxis, quasi an sichere Wegweiser, zu halten hat, andere Tatsachen bei Seite lassend, die theoretisch wichtig, jedoch für die Praxis zu kompliziert sind. Nachdem der Gegenstand an und für sich breit ist und auch der Leserkreis der vorliegenden Mitteilung wohl verschiedene Ansprüche haben kann, werden wir das Thema derartig teilen, daß der vielbeschäftigte Arzt praktische Erklärungen im Text und klinische Winke in den Schlußfolgerungen finden kann, daß aber andererseits auch derjenige, der sich für präzise Messungen interessiert und nur deswegen die Erregungsgesetze wenig kennt, weil die betreffenden Quellen

[1]) $ax + by = c$ und $dx + ey = f$, $y = \frac{cd - af}{db - ae}$, $x = \frac{bf - ce}{db - ae}$.

manchmal unzugänglich sind, das gewünschte Material in knapper Form vor Augen hat. Außerdem will ich noch, behufs leichterer Übersicht über den Zusammenhang der Erregungsgesetze mit meinen klinischen Versuchen, bei jedem Gesetze dasjenige besprechen, was eben in engerem Verhältnis mit dem betreffenden Gesetze steht, und zwar den Wert meiner klinischen Optimalentladung gleichzeitig mit dem Gesetze von Hoorweg, und meine Hypothese über spezifischen Widerstand der Nerven gleichzeitig mit dem Gesetze von Cluzet.

Zuletzt noch ein Wort. Die vorliegende Mitteilung ist kein „Handbuch“ und macht auch keinen Anspruch, eine ausgiebige Beschreibung der polemischen Methoden, sondern nur einen einfachen, der allgemeinen Praxis dienenden Wegweiser zu liefern. Ich bin mir vollkommen bewußt, daß die Sache hie und da an Anschaulichkeit Mangel leidet, aber ich bin wahrhaftig an jener Konfusion nicht schuldig, von welcher Boruttau mit Recht sagt: „eine bedeutende Verwirrung ist leider in diesen Streit hineingelangt.“ Es wäre mir sogar viel leichter und bequemer, die Sache kurzweg derartig abzuschließen, wie ich es in neueren Werken lese, und zwar mit dem Ausdruck: „wir verzichten auf eine nähere Diskussion“ oder ähnliches; wenn schon aber eine Sache eingeführt wurde, muß sie zugänglich gemacht werden, und es bekennen sogar berühmte Kliniker, sich bisher mit den Gesetzen der Erregung nicht beschäftigt zu haben, was umsomehr vom praktischen Arzt gelten dürfte. Wir haben auch deswegen beschlossen, bei der weiteren Besprechung unseres Themas einerseits den Wert der neuesten wichtigen Errungenschaften und das Verhältnis derselben zu unseren Versuchen zugänglich zu machen, andererseits aber den praktischen Zweck der Klinizisten im Auge zu behalten.

Ich will und kann nicht an diesem Ort alle früheren Formeln von Du-Bois-Reymond, Pflüger, Fick, Brücke, Engelmann, Grützner, Chauveau, d'Arsonval, Marès, Boudet, Waller, Dubois, Salomonson usw. berücksichtigen. Ich bespreche nur die Gesetze der Neuzeit und fasse die Frage, um sofort „in medias res“ hineinzugreifen, in folgender Form auf. Was haben für eine Bedeutung in der Klinik die einzelnen Koëffizienten und Buchstaben des Erregungsgesetzes von Hoorweg und anderen Forschern? Der Praktiker hat ja bisher den faradischen Strom nach dem Rollenabstand gemessen und den konstanten durch die Intensität oder die Spannung, also durch Einheiten, welche in Zentimetern, Milliampères oder Volts ausgedrückt waren; warum soll er auf einmal diese Einheiten durch Koëffizienten oder Zahlen ersetzen, die an und für sich eigentlich keine Einheiten ausdrücken und von denen die Verfasser, Ziehen und Hoorweg (117), selbst

sagen: „Wir geben sofort zu, daß für die praktische Diagnostik einstweilen die seither üblichen Methoden genügen.“ Hier liegt eben, unserer Meinung nach, die Grenze der alltäglichen Praxis und der tieferen Ergründung physiologischer Vorgänge und pathologischer Prozesse. Für den Praktiker ist es vielleicht wohl bequemer, an einem handlichen Apparate direkt die Intensität oder die Spannung abzulesen, für den Theoretiker ist es aber nicht gleichgültig, zu betonen, daß diese Stromintensität, welche man oft als Maß der elektrischen Erregbarkeit betrachtet, zweideutig ist, und eigentlich von zwei gesonderten Koëffizienten abhängt. Nachdem wir nun mit zwei unbekannten Größen zu tun hätten, hat man daran gedacht, die Kondensatormethode in das Spiel einzuführen, jedoch insofern ohne Erfolg, als die gesonderte Bestimmung der beiden Koëffizienten ohne die schwierige Messung des Körperwiderstandes nicht möglich ist. Hoorweg hat dazu, wohl als der erste, eine Methode ersonnen, welche sich auf einer Kombination der Kondensatorentladung und der gewöhnlichen galvanischen Untersuchungsmethode gründet. Er bestimmt aus einigen Versuchen, unter verschiedenen Bedingungen, also mit verschiedenen Kondensatoren, zwei Koëffizienten in der Art, in welcher man in Gleichungen mit zwei Unbekannten dieselben durch Subtraktion ermittelt. Diese zwei Koëffizienten α und β werden „Anfangserregbarkeit“ und „Extinktionskoëffizient“ genannt. Um in zugänglicher Weise die Bedeutung solcher Begriffe dem Praktiker zu erklären, will ich die Sache durch Beispiele erläutern. Bevor ich dies jedoch tue, will ich kurzwegs erwähnen, wie dieselben bestimmt werden. Nach einer Formel von Hoorweg, zu der wir noch zurückkehren werden, steht jede Stromspannung P, die eine Minimalzuckung vermittelst beliebigen Kondensators hervorruft, in einem Verhältnis zu dem Widerstande (R) des Leiters und der Kapazität (C) des Kondensators, das von einer Formel $P = a\,R + \frac{b}{C}$ bestimmt ist. Wir werden diese Formel noch näher besprechen und betonen nur, daß a und b Konstante sein sollen, die vom Nerv, von den Elektroden und von den Maßeinheiten abhängig sind. Wenn wir diese Formel mit einem anderen Gesetze kombinieren, das auch später erwähnt wird, und wonach jede differentielle Erregung (ε) einer unendlich kleinen Zeit (dt) von der Stromintensität und von 2 Koëffizienten α und β abhängt ($\varepsilon = \alpha + e^{-\beta t} + i$, so erhalten wir aus der obigen Formel die folgende Modifikation $P = \frac{\eta\,\beta\,R}{\alpha} + \frac{\eta}{a\,C}$, wo schon die Koëffizienten α und β figurieren, und wo die Totalerregung mit η bestimmt wird. Wenn wir

nun durch m eine der Minimalzuckung entsprechende Erregung bestimmen, erhalten wir dann für eine gewisse Kondensatorentladung die Formel:

$$P_1 = \frac{m\beta}{\alpha} R + \frac{m}{\alpha C_1}$$

und für die Entladung eines zweiten Kondensators (C_2), der mit anderer Spannung geladen war (P_2):

$$P_2 = \frac{m\beta}{\alpha} R + \frac{m}{\alpha C_2}.$$

Ohne weiteres erhalten wir dann durch Substraktion von $P_1 - P_2$ den Wert eines gesonderten Koëffizienten α, und zwar

$$\alpha = m + \frac{\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}}{P_1 - P_2}$$

Wenn wir dann denselben Nerv mit konstantem Strom reizen, erhalten wir ein gewisses Intensitätsmaß (I.), und berechnen aus demselben den Koëffizient β, nachdem die Totalerregung $\eta = \frac{\alpha}{\beta}$ I, und für $1 = \frac{\alpha}{\beta}$ I $\beta = \alpha$ I. oder β gleicht dem Produkt von α durch die Intensität (I.).

Das ganze Verfahren ist, wie wir sehen, sehr ernst und äußerst sinnreich. Durch zwei oder drei aufeinanderfolgende Kondensatorentladungen und eine Stromschließung erhalten wir wertvolle Formeln, von denen sich jedoch nicht leugnen läßt, daß dieselben für die alltägliche Praxis ein wenig kompliziert sind. Wenn wir noch dazu die kondensatorischen Eigenschaften des Körpers selbst berücksichtigen, wird die Formel noch komplizierter. Hoorweg selbst betont, daß die nötigen Apparate kostspielig sind, obwohl es sich nicht leugnen läßt, daß die Benutzung derselben den Verfasser dazu führte, die Kapazität des Körpers genau zu messen, (0·004—0·0063 μ Farads) und für verschiedene Muskeln verschiedener Personen dieselben Koëffizienten α und β zu ermitteln ($\alpha = 3300$, $\beta = 660$). Was heißt es nun aber, daß der Koëffizient α des gesunden Menschen (?) 3300 gleich ist, und der Koëffizient $\beta = 660$? Es heißt mit anderen Worten, daß eine durch einen Miliampère verursachte Erregung der motorischen Nerven 3300 Mal so groß ist als diejenige, welche auf demselben Weg eine Minimalzuckung hervorruft, und daß diese starke Erregung mit einer derartigen Geschwindigkeit während der Stromwirkung verläuft, daß nach $\frac{6}{660 \log e}$ oder $\frac{1}{43}$ Sekunde der Wert so gefallen ist, daß 300 Miliampères keine Zuckung hervorzurufen imstande wären. Aus diesem Beispiel ist es ersichtlich, was für eine

Bedeutung die beiden Zahlen (3300 und 660) haben; wenn wir z. B. vom Opticus sagen, daß $\alpha = 450$ und $\beta = 63$, so heißt es, laut Obigem, daß die primitive Erregung nur 450 Mal so groß ist als diejenige, welche eine Minimalzuckung hervorruft, daß dieselbe jedoch viel langsamer bis zu jenem Werte herabfällt, wo schon keine Zuckung hervorgerufen werden kann, und zwar nach $\frac{6}{63 \log e}$ oder $\frac{5}{27}$ einer Sekunde, während die motorische Erregung schon in $\frac{1}{43}$ Sekunde abgelaufen war. Dies wäre die Bedeutung dieser beiden Zahlen, und wir werden jetzt betrachten, woher ihr Name stammt? Laut Hoorwegs Ansicht ist das bisherige Erregungsgesetz von Du-Bois-Reymond über Proportionalität von Reizerfolg und Geschwindigkeit der Stromdichtenänderung falsch; die differentielle Erregung (ε) in jeder unendlich kleinen Zeit (dt) soll nämlich von folgender Formel abhängig sein

$$\varepsilon = \alpha \times e^{-\beta t} \times i$$

wo i die Intensität zur Zeit t bedeutet, e die Basis der Logarithmen, α und β zwei von den Bedingungen des Individuums und des Versuches abhängige Koëffizienten. Nachdem nun $e^{-\beta t}$ eine Größe ist, die in der Zeit von 1 bis 0 abnimmt, und zwar desto schneller „verschwindet" oder „extingiert" wird, je größer β ist, wurde der Name eines „Extinktionskoëffizienten" vorgeschlagen; nachdem andererseits für eine Zeit, die gleich Null ist ($t = 0$), $e^{-\beta t}$ einer Einheit gleicht ($e^{-\beta t} = 1$), und darnach $\varepsilon = \alpha \, . \, i$, wurde auch für diesen zweiten, quasi einheitlichen, primitiven Koëffizienten der Name der „Anfangserregbarkeit" vorgeschlagen. Was für eine Bedeutung diese Namen haben, hätten wir schon aus dem obigen Beispiel des Opticus gesehen; noch näher vielleicht würden wir uns orientieren, wenn ich sage, daß die übliche KaSZ einen Wert ergibt, der dem Quotienten dieser beiden Koëffizienten ($\frac{\alpha}{\beta}$) gleichen soll, d. h. ebenso wohl von einer großen Anfangsempfindlichkeit, wie von einem kleinen Extinktionskoëffizienten herrühren kann. Hoorweg hat sich also bemüht, den Hauptwert der bisherigen Elektrodiagnostik, d. h. die Intensität des konstanten Stromes, welcher eine Kathodenschließungszuckung hervorruft, quasi in zwei Koëffizienten zu spalten, und er hat auch teilweise allein, teilweise mit Ziehen höchst interessante Beweise über den wissenschaftlichen Wert dieser „Spaltungsprodukte" geliefert. Was den rein praktischen Wert derselben anbelangt, glaube

ich aber am besten zu tun, wenn ich den Ausdruck der Verfasser selbst wiederhole, und zwar die Äußerung, daß „die Resultate zur Zeit noch sehr spärlich sind und die Herabsetzung der α Werte bei peripherischen und nuklearen Lähmungen für die praktische Diagnostik ohne Bedeutung ist“ .... wobei „für den diagnostischen Zweck einstweilen die seither üblichen Methoden genügen.“

Ich habe mich trotzdem hier eifrigst bemüht, dem wohlwollenden Leserkreise die Sache durch Beispiele und Zitate zugänglich zu machen, nachdem ich aus Erfahrung weiß, wie unzugänglich die Literaturquellen und wie unverständlich die mathematischen Formeln sind. Durch diese Mühe hab' ich wohl bewiesen, wie hoch ich diese äußerst wichtigen Arbeiten schätze, und habe nur daran eine kurze praktische Bemerkung für die alltägliche Tätigkeit des Arztes geschlossen, welche „sine ira et studio“ aus der letzten Abhandlung der Autoren selbst zitiert wurde. Wenn mich jemand fragen würde, was wichtiger ist, die Bestimmung der Harnsäure und des Harnstoffes am Krankenbett, oder die Zersetzung und die Synthese des Harnstoffes, müßte ich doch antworten, daß für die Wissenschaft die Synthese von enormem Wert ist, am Krankenbett aber doch die üblichen Bestimmungen ausreichen müssen; so scheinen mir auch jene „Zersetzungsprodukte“ des Kathodenschließungswertes, die wir in den Koëffizienten α und β haben, von enormem wissenschaftlichem Werte zu sein; für die alltägliche Praxis wird aber wohl jene Kondensatormethode genügen, welche wir seit Jahren in der Klinik mit positiven Resultaten brauchen und empfehlen, umsomehr, da sie schon viele Ergebnisse beibrachte und überhaupt dem Arzte in Form eines „konkreten Maßes“ zugänglicher ist, als mathematische Begriffe von Koëffizienten, die eigentlich nicht in Einheiten ausgedrückt sind. Dadurch ist aber keineswegs gesagt, daß die Vertiefung wissenschaftlicher Geheimnisse die Heilkunde in beträchtlicher Weise, auf dem von den obgenannten Forschern beschriebenem Wege, nicht fördern und entwickeln könnte.

Im Gegenteil liefert uns die an und für sich analysierte, obgenannte Formel von Hoorweg ($P = aR + \frac{b}{C}$) viele Winke und Erklärungen für bekannte Tatsachen der Praxis. Sie sagt uns zuerst, daß bei Anwendung von Strömen, wo a R sehr klein ist im Verhältnis zu $\frac{b}{C}$, also auch $P = \frac{b}{C}$ oder $q = b$ (konstant), d. h. bei Anwendung von statischen Strömen einer Franklinschen (48) Maschine, die Totalerregung, in Übereinstimmung den Versuchen Voltas, mit der angewendeten Elektrizitätsmenge

proportional ist (47). Für konstante Ströme ist, laut dieser Formel, der Reiz einem solchen einer unendlich großen Kondensatorkapazität gleich und wird durch eine konstante Intensität gemessen; (P = a R) (54), in den Fällen aber, in welchen die Selbstinduktion des Kreises groß und der Widerstand klein ist, kann auch die Voltspannung als konstantes Maß der Erregung gelten, so wie es auch in den Versuchsreihen von Dubois der Fall war. Die Kapazität des menschlichen Körpers oder die Eigenschaft, Elektrizität zu kondensieren, verkleinert diesen Einfluß der obgenannten Selbstinduktion, sowohl nach Versuchen von Dubois, wie laut der Hoorwegschen Formel. Was faradische Ströme anbelangt, lehrt uns die Formel von Hoorweg, daß Öffnungsinduktionsströme ähnlich wirken wie Entladungen, denselben Verlauf haben, und daß der Nerv bei denselben auch auf Stromintensität reagiert, wenn wir von der maximalen Intensität der Induktion eine kleine unwirksame Quantität a subtrahieren b (konstant $= \frac{L}{R}$ (i - a) (48 S. 87). Die Erregungsformel für Wechselströme, sowie das Verhältnis des Gesetzes zu den wahrscheinlich unter dem Einflusse der Dämpfung verschiedenen Resultaten von Einthoven beiseite lassend, gehe ich sofort zur diagnostischen Kondensatorentladung über. (Z. 1902. 56.) Das Gesetz von Hoorweg zeigt uns nun, daß bei Anwendung von immer kleineren Kondensatorkapazitäten (54 S. 13—15) zur Hervorrufung derselben Zuckung

1. die erforderliche Intensität immer größer wird,
2. die Elektrizitätsmenge immer kleiner,
3. die Energie bis zu einem gewissen „Optimum" immer kleiner, dann größer;

für dieselbe Kapazität ist außerdem

4. bei wachsendem Widerstand, Intimität, Elektrizitätsmenge und Energie immer größer.

Aus allen diesen Schlußfolgerungen ist wohl für uns die dritte die wichtigste, welche durch den Ausdruck $C = \frac{b}{a R}$ definiert wird und die in den vorigen Kapiteln besprochene Tatsache erläutert, nämlich das Vorhandensein eines „Optimums der minimalen Energie" für Auslösung derselben Minimalzuckung unter sonst verschiedenen Versuchsbedingungen. Dies ist eben jener Wegweiser, an den sich zu halten in gewissen Versuchen der alltäglichen klinischen Praxis ich geraten habe, und es dürfte also kein Mißverständnis mehr herrschen zwischen der

theoretischen Formel von Hoorweg und meiner langjährigen klinischen Erfahrung an gesunden und kranken Individuen. Ich wollte wie in meinen klinischen Arbeiten die „Energie" als „Erregungsmaß" angeben, ich habe aber geraten, in der Praxis für gewisse approximative Vergleichsversuche, die in beliebigen Einheiten ausgedrückte Entladung jener konstanten und von allen Forschern auf unabhängigem Wege konstatierten Optimalentladung zu verwerten, welche einem Minimum der zur Auslösung derselben Minimalzuckung erforderlichen Energie entspricht. Ich glaube, dies nie zu oft wiederholt zu haben, nachdem ja die Sache in praxi wenig berücksichtigt und von manchen Forschern vollkommen mißverstanden wurde. Andererseits kann ich wiederum nicht leugnen, daß eine solche „Optimalkapazität" eine genügend große Voltspannung erfordert, die manchmal dem Arzt am Krankenbett nicht zugänglich ist; ich habe auch deswegen in meinen präzisen klinischen Messungen solche Kapazitäten gebraucht, die den Begriffen der früheren Kapitel und den theoretischen Erwägungen von Hoorweg vollkommen entsprechen, in den Experimenten der alltäglichen Praxis aber sowohl in meinen älteren Apparaten, als auch in den neuen, die gemeinsam mit Dr. Mann beschrieben wurden, nur solche Kapazitäten angebracht, welche den Grenzen der pathologischen Erregbarkeit und der zugänglichen Elementenzahl angepaßt werden können. Ich werde zum Schluß dieser Erwägungen die Sache durch kleine Beispielstabellen (A und B) aus eigenen Versuchen an verschiedenen Nerven und denjenigen anderer Forscher kurzwegs zu erläutern trachten. Die Bedeutung der Zahlen ist in der ersten horizontalen Linie angedeutet; alle Versuche wurden an Menschennerven durchgeführt.

Tabelle A.

	Kapazität des Kondensators in μ-Farads	Quantität der Ladung (Q = C V)	Energie der Ladung (E = 5 C V²)	Erforderliche Spannung für die Minimalzuckung
Zanietowski	1	24	2880	24
„	0·5	14	1960	28
„	0·1	8·8	722 V	38
„	0·05 V	2·25 V	506·25	45 Λ
„	0·02	1·54	592·9	77
„	0·01	1·10	605·00 Λ	110

	Kapazität des Kondensators in μ-Farads	Quantität der Ladung (Q = C V)	Energie der Ladung (E = 5 C V²)	Erforderliche Spannung für die Minimalzuckung
Waller	0 8	8	400	10
"	0·14	2·80	280	20
"	0·05 ∨	1·65 ∨	247·5 ∨	30 ∧
"	0·035	1·40	280	40
"	0·015	1·05	367.5 ∧	70
Hoorweg	0·5	2·5	50·6	4.5
"	0·1	0·7	24·5	7
"	0·05 ∨	0·45 ∨	20·25 ∨	9 ∧
"	0·02	0·32	24·6	16
"	0·005	0·25	62·5 ∧	50
Dubois	1	9·800	480·2	9·8
"	0.717	1·078	75·5	14
"	0.031 ∨	0·651 ∨	68.3 ∨	21 ∧
"	0·011	0·539	132	49
"	0·007	0·496	171 ∧	70

Tabelle B.

Versuche von Zanietowski.

Kapazität des Kondensators in mikrofarads	Minimale Muskelzuckung bei indirekter Reizung (N. radialis)			Minimale Zuckung am Lippenrot			Erste Lichtempfindung			Erste Geschmackempfindung		
	Volts	Coulombes	Ergs	Volts	Coulombes	Ergs	Volts	Coulombes	Ergs	Volts	Coulombes	Ergs
1	24 ∧	24 ∨	2880	5 ∧	5 ∨	125	4 ∧	4 ∨	80	3·1 ∧	3·1 ∨	48
0·5	28	14	1960 ∨	7	3.5	120.5 ∨	5·5	2·75	75·6	3·2	1·6	25·6 ∨
0.05	45	2·25	506·25 ∧	11	0.55	30.25 ∧	9	0·45	25	8	0·4	16·0 ∧
0·02	77	1·54	592·9	24	0·48	57·6	21	0.42	44·1	15	0·3	22·5

Ein einfacher Blick auf die Tabellen genügt, um die Harmonie meiner klinischen Ergebnisse mit denjenigen anderer Forscher und vor allem mit den wichtigen Gesetzen von Hoorweg zu beweisen. — Überall entspricht das „Optimum“ der Energie den Kapazitätsgrenzen von 0·03 bis 0·05, und ich habe auch deswegen seit Jahren solche Kondensatoren für präzise klinische Versuche empfohlen, da in diesen Grenzen auch die Resultate viel konstanter sind. — Wenn wir aber die Zahlen der letzten Vertikalkolumne in Tabelle A vergleichen, so überzeugen wir uns, wie hoche Spannungen für kleine Kondensatoren erforderlich sind. — Wenn wir außerdem berücksichtigen, daß die Zahlen jener Forscher, welche meine Versuche nachgeprüft haben, höher als diejenigen anderer Forscher ausfallen (Radialis 22—26 Volt, Ulnaris 20—28, Medianus 14—20) und daß diese Zahlen noch höher bei Kindern und viel höher bei Kranken sind, so ist es wohl selbstverständlich, warum ich für die alltägliche Praxis in meinen älteren Apparaten und in dem mit Dr. Mann konstruierten **höhere** Kapazitäten (0·3, 0·5, 1 mikrof.) angebracht habe, die eine **niedrigere** Spannung und Elementenzahl verbrauchen. — Es ist also für die präzise Messung sehr wichtig, entweder meinen „Optimalkondensator“ zu brauchen, oder, laut Hoorweg, Kondensatoren von 0·02, 0·05 und 0·2 zu vergleichen; es ist aber nichts desto weniger wichtig, zu berücksichtigen, welche Spannung der Batterie oder des Anschlußtableaus dem Arzt am Krankenbett zur Verfügung steht, besonders in Fällen von abgeschwächter Erregbarkeit. Es gibt zwar Fälle, wie es auch Cluzet gesehen hat, wo der auf andere Methoden reagierende Nerv von einer Kondensatorentladung sich gar nicht reizen läßt (siehe meine Arbeit von 1899); in der Mehrzahl der üblichen Untersuchungsprotokolle müßten wir aber überall schreiben: „Durch Kondensatorentladung unerregbar“, wenn wir nur sehr kleine Kapazitäten brauchen würden, die eine große Elementenzahl erfordern, und die Gegner der Kondensatormethode würden eben mit Recht sagen können, daß die alten Methoden doch bequemer sind. — Wenn wir außerdem die Tabelle C ansehen, können wir uns überzeugen, daß betreffende Spannungen oft sehr hoch (60, 94, 100 Volts) ausfallen, wie es aus einigen Beispielen meiner zahlreichen klinischen Protokolle hervorgeht. (Erläuterung im Text.)

In der ganzen Tabelle C sind Spannungen in Volts angegeben; der Kondensator hatte den hohen Wert eines Mikrofarads, und es war doch in manchen Fällen die Spannung auch sehr hoch [48, 60, 94, 100 Volts oder $<$ 50, was bedeuten soll „mehr als 50 Volts]. — Der einzige Fall, in welchem keine Spannung überhaupt ausreichte, war die Dystrophia muscularis, und ich habe diese Beobachtung mit derjenigen

Schwanda's über Franklinisation noch im Jahre 1899 verglichen. — Auch werden hohe Spannungen bei Myotonie und Myastenie gebraucht, und die Zeichen 16 < 20 sollen uns erläutern, wie unter dem Einfluß der Ermüdung höhere Werte in demselben Versuche ermittelt werden. Dies spricht also alles für die unangenehme, aber praktische Notwendigkeit, einen Mikrofarad (oder wenigstens $^1/_2$, $^1/_8$ μF.) in der Klinik zu brauchen, wenn wir hohe Spannungen vermeiden und überhaupt mit unseren üblichen Apparaten ausreichen wollen.[1])

Tabelle C.

	Facialis	Ulnaris	Radialis	Peroneus	Opticus	Glosso-phar.	Acces-sorius
Normal	14—17	20—22	24—25	23	3·5—4	2—3·1	9—10
Tetania	>6	>12			3·5	2	9
Paral.-facialis . . .	16—28	21			3·4	2·5	9·4
„ radialis . . .	16	22	36—48		3·5	2	9
„ ulnaris . . .	15·5	30—60					9
Myotonia	16<20	22<	24<	23<32			
Basedow	15	21	24	23	3·5	2	9
Sclerodermia . . .	16	22	25	23			
Dystrophia musc. .	15½	21½	24	0			
Myelitis	16	21	24	50—94			
Poliomyelitis . . .				40—100		2	9
Tabes	14	16	24	<50	3	2	9
Myastenia	16<20		24—30	23<32			
Polyneuritis . . .	16>12		24—30	23 . 19			

Trotzdem ist aber, sogar bei Anwendung eines ganzen Mikrofarads, die Konstanz der Resultate ziemlich erfreulich, wenn wir die gesunden Nerven untereinander vergleichen, sogar bei solchen Fällen, die bekanntlich große Widerstandsdifferenzen zeigen (Basedow und Sclerodermie, Tabelle C). — Noch prägnanter wird diese Konstanz zu Tage treten, wenn wir die Mittelwerte meiner zahlreichen klinischen Protokolle mit den Zahlen anderer Autoren und den verhältnismäßig großen Differenzen der üblichen galvanischen und faradischen Erregbarkeitswerte (siehe Tabelle D) vergleichen (überall sind Spannungen in Volts angegeben; die Kapazität = 1 mikro-Farad).

[1]) Wo ich für präzise Versuche am Krankenbett genötigt war, hohe Spannungen zu brauchen, nahm ich eine kleine Batterie aus 100—200 dünnen Zink- und Kupferplatten, die mit feuchten Leitern (Fließpapier) in Verbindung standen und ein hohes Potential, trotz kleiner Intensität, hatten.

Tabelle D.

	Accessorius	Medianus	Facialis	Ulnaris	Tibialis	Radialis
1. Zanietowski . .	9—10	14	14—17	20—22	28	24—5
2. Bernhard	8—16		19—20	20—24		22—26
3. Dubois		9·8—16·8				
4. Mann		14—20				
5. Differenzen für 1. in milli-Coulombs . .	0·001		0·008	0.002		0·001
Galvanische Werte (Miliampères) . . .	0·10—0·44	0·3—1·5	1—2·5	0·6—2·6	0·4—2·5	0·9—2·7
Differenzen (Miliamp.)	0·34	1·2	1·5	2·0	2·1	1·8
Faradische Werte (milim.)	130—145	110—135	110—132	107—130	95—120	90—120
Differenzen (milim.) . .	15	25	22	23	25	30

Diese Tabelle beweist uns:

1. eine analoge Progression der Kondensator-Erregbarkeit bei verschiedenen Nerven, wie der faradischen und galvanischen,
2. ein gewisses Verhältnis zwischen der Erregbarkeit verschiedener Nerven, so wie es Erb gesehen hatte,
3. eine erfreuliche Coïncidenz meiner Werte mit denjenigen anderer Autoren,
4. eine ziemliche Konstanz dieser Werte im Vergleich mit den Differenzen der galvanischen und faradischen Werte. —

Obwohl es also eine sichere Sache ist, daß die Erregbarkeitswerte desto konstanter sind, je näher wir uns der „optimalen Kapazität" befinden, die wiederum, laut meinen Versuchen, derjenigen des Körpers selbst in gewissen Grenzen **nahe liegt**, und sich sogar in Krankheitsfällen samt derselben **verschiebt**, sind wir in der Praxis genötigt, höhere Kapazitäten (1, 0·5, 0·3 μF.) zu brauchen, und es zeigt sich doch aus zahlreichen Versuchen, die ich nicht an irgend einem „Menschennerven" (?), sondern an einer Reihe von gesunden und kranken motorischen und sensorischen Nerven durchgeführt und hier nur beispielsweise zitiert habe, daß die Resultate doch ziemlich konstant und in kleineren Grenzen als die üblichen ausfallen.

Hier liegt die Grenze zwischen Theorie und Praxis, zwischen theoretischen Erregungsgesetzen und klinischer Erfahrung, hier liegt auch die Ursache mancher Verwirrung auf dem Grenzgebiete der Elektromedizin, welche immer mehr die Elektrizitätslehre mit der Heilkunde in strikter,

mathematischer, aber nichts desto weniger praktischer Weise zu verbinden verpflichtet ist.

Ich habe mich etwas länger bei der Kondensatormethode von Hoorweg aufgehalten, da ich der Meinung war, daß diese äußerst wichtigen Arbeiten nicht jedem Praktiker zugänglich sind, und da ich das Verhältnis derselben zu meinen Versuchen und zur vorliegenden Arbeit aufklären und manches Mißverständnis beseitigen wollte. — Ich gehe jetzt zu der Erregungsformel von Weiss über und hauptsächlich zu dem aus derselben durch Cluzet neulichst deduzierten Gesetze der Kondensatorentladungen. Wir werden uns bei dem Gesetz von Weiss insofern kürzer aufhalten, als der Leserkreis der „Zeitschrift für Elektrotherapie" dasselbe wenigstens teilweise aus der Polemik mit Hoorweg (IV. No. 1) kennt. — Um zwischen beiden Erregungsgesetzen von Hoorweg und von Du-Bois-Reymond zu entscheiden, hatte Weiss, wie bekannt, folgende Versuche angestellt. Weiss verband gewisse Teile einer Strombahn derartig mit einer Reihe vertikal hängender Fäden, daß das Zerreißen dieser Fäden einen kurzen Stromstoß durch den Nerv zu senden gezwungen war; dieses Zerreißen geschah durch eine Kugel, welche aus einer Kammerbüchse geschossen war, und die Dauer des Stromstoßes wurde selbstredend von der Entfernung der Fäden und von der Geschwindigkeit der Kugel bestimmt. — Die Geschwindigkeit war 130 m per Sekunde, die Fadenentfernung 1 cm (z. B.), die Stromdauer in dem Fall 0,000077 Sekunden. — Es stellte sich nun heraus aus einer Reihe von Versuchen, daß successive Stromstöße von kürzerer Dauer eine höhere Polspannung erforderten, als ein einziger Stromstoß von längerer Dauer, und daß die Elektrizitätsmenge q, welche für die minimale Zuckung erforderlich ist, in einer strikten Beziehung zur Zeitdauer t steht. — Diese Beziehung läßt sich durch eine Formel mit 2 Koëffizienten ausdrücken, und zwar:

$$q = a + bt.$$

Die Bedeutung der Regel wäre die, daß jede minimale Zuckung eine gewisse Elektrizitätsmenge erfordert, plus ein kleines Quantum, das in jedem Fall von der gegebenen Zeitdauer des Reizes abhängig ist. — Mit anderen Worten können wir sagen, daß dieselbe Elektrizitätsmenge immer dieselbe Zuckung hervorrufen wird, wenn die Zeitdauer des Reizes dieselbe ist. — Laut Hoorweg soll nun diese „allgemeine Erregungsformel" von Weiss bei dem konstanten Stromschluß und bei den Zeitreizen des faradischen Stromes scheitern; für den ersten Fall z. B. wäre ja bei schnellerer Schließung die minimale Intensität höher, als bei langsamer, was allen bekannten Versuchen widerspricht. Die

Erregungsformel von Weiss soll, laut Hoorweg, nur für die Erregung von Kondensatorentladungen, Leidener Flaschen, Elektrisiermaschinen und überhaupt für kurzdauernde Stöße von beliebiger Natur gültig sein.

Ich will hier absichtlich die weitere Polemik beiseite lassen, die ich in kurzen Worten am Anfang des Kapitels erwähnte. — Ich sage kurzwegs, daß die Regel von Weiss insofern doch für unseren Standpunkt der Kondensatormethode wichtig sein dürfte, als ihre Gültigkeit eben für Kondensatorentladungen beiderseits in der Diskussion bestätigt wurde. — Hiermit hat aber die Frage noch nicht ihr Ende erreicht. — Herr und Fr. Lapicque haben die Formel $q = a + bt$ näher untersucht und verschiedene Kondensatoren (C_1, C_2, usw.) gebraucht, um verschiedene Reizdauern (t) zu haben. — Es entstand dann selbstredend aus der Formel von Weiss $q = a + bt$ oder $CV = a + bt$ eine Formel $C_1V_1 = a + bC_1$ und für einen zweiten Kondensator $C_2V_2 = a + bC_2$, woraus sehr leicht a und b zu ermitteln sind. Es soll sich nun gezeigt haben, daß die Formel von Weiss nur für rapide Muskeln gültig ist, nicht für diejenigen, welche eine langsame Zuckung haben oder erkältet sind; dort muß noch eine Korrektur hinzukommen, und zwar würde die Formel lauten: q oder $CV = \alpha + \beta RC - \gamma V$ für Kondensatoren oder im allgemeinen $q = \alpha + \beta t - \gamma V$. Die Bedeutung dieser Regel wäre ungefähr die, daß für gewöhnliche Muskeln, so wie wir es in der Besprechung der sogenannten „Optimalentladung" gesehen haben, die Energie beiderseits vom obengenannten Optimum immer dieselbe Zuckung hervorruft, wenn sie auch kleiner oder größer ist; laut Lapicque wäre aber für langsam kontraktile Muskeln die Energie immer größer, je größer die Zeitdauer, und danach auch zwischen gewissen Grenzen die Energie beinahe konstant.

Ich will hier nur so viel bemerken, daß ich auch seit langer Zeit diese Konstanz der Energie „in gewissen Grenzen" beobachtete und beschrieb, und doch dieselbe nicht als Maß des Reizes empfahl; auch habe ich öfters eine große Verschiebung der Optimalenergie bei kranken, langsam kontraktilen Muskeln gesehen, die vielleicht nicht ohne Bedeutung für die Klinik ist, und denen ich weitere Versuche widme; endlich ist das Verhältnis der Koëffizienten a und b, wie es Lapicque betont, meinem älteren Begriffe jener Zeit nahe, mit welcher zu experimentieren in klinischen Erregbarkeitsstadien doch am vorteilhaftesten ist.

Die Arbeiten von Lapicque wurden in neueren Zeiten teilweise von Cluzet (16) kritisiert. Dieser Verfasser suchte aus dem allgemeinen Gesetze von Weiss direkt eine Formel für Kondensatorentladungen zu deduzieren und dann dieselbe experimentell nachzuprüfen. Ich müßte hier wiederum mit dem Leser durch einen Wald von komplizierten

wissenschaftlichen Formeln herumgehen und werde deswegen, möglichst kurzwegs, die **Bedeutung** der wichtigen Arbeit selbst und der mathematischen Ausdrücke zugänglich machen. Laut üblichen Gesetzen über die Elektrizitätsmenge einer Kondensatorentladung in einem Kreise ohne Selbstinduktion,[1]) und laut der Regel von **Weiss** kann man auf mathematischem Wege, durch entsprechende Substitutionen und Analysen der graphischen Kurve zu folgenden Formeln kommen:

$$t = RCL \frac{Vo}{bR}, \quad V = bR, \quad C(V_0 - bR) = a + bRCL \frac{Vo}{bR}.$$

Die **Bedeutung der Buchstaben** wäre nun: R = Widerstand des Kreises ohne Selbstinduktion, t = Reizdauer, V und C = Potentialspannung der Batterie und Kapazität des Kondensators, welche eine minimale Zuckung hervorrufen, sonst Koëffizienten, die von den Versuchsbedingungen abhängig sind. Die **erste Formel** bedeutet nun, wieviel Sekunden die Zeit der Entladung t beträgt, wenn V in Volts, C in Farads, R in Ohms ausgedrückt ist; die **zweite Formel** bedeutet, daß die Spannung, welche im Anfang Vo ist und am Schluß der Entladung nur V ist, vom Widerstand abhängt und von jenem Koëffizient b, den wir bei der Formel von **Weiss** besprochen haben; die **dritte Formel** endlich leitet uns zu einigen wichtigen Schlußfolgerungen, deren Bedeutung, in zugänglicher Form, folgende wäre:

1. Die Kapazität C wächst, je kleiner V ist, d. h. sie ist um so größer, eine je kleinere Voltspannung wir zur Hervorrufung der Minimalzuckung brauchen; wenn C von Null bis zum Unendlichen wächst, fällt V vom unendlich bis zu bR, wo R den Widerstand bedeutet, und b den obgenannten Koëffizienten von **Weiss**; bR bedeutet nun, laut **Cluzet**, einen approximativen Wert der Spannung, welche die Minimalzuckung hervorruft, sodaß man sagen kann, daß jede reizende Entladung eine höhere Spannung als bR hat.

2. Jede Entladung kann die Erregbarkeit bestimmen, wenn nur die Spannung einen Wert (bR) erreicht hat, der von der Kapazität unabhängig ist, und dies wäre in Einklang mit der Theorie von **Dubois**, daß jede Kondensatorentladung in einen **aktiven** und **inaktiven** Teil **zerfällt**.

3. Die Zeit der Entladung wächst von Null bis zum Unendlichen, je kleiner die Spannung ist, und zwar je mehr sie sich an bR nähert.

---

[1]) $Q = Jo \int_0^t e^{-\frac{t}{RC}} = Jo\, RC \left(J - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$

4. Die Energie der Entladung, welche eine minimale Zuckung hervorruft, hat ein gewisses Optimum, was sich sowohl von obiger Formel, als von der Erfahrung deduzieren läßt; die Elektrizitätsmengen hingegen wachsen immer mehr, je größer die Spannungen und kleiner die Kapazitäten sind, und zwar wachsen dieselben von einem Wert a angefangen, wo a den obgenannten Koëffizient von Weiss bedeutet und außerdem einen Wert der Kapazität Null, die zu einer unendlich großen Spannung geladen ist, oder, mit anderen Worten, einen Wert, von dem die Quantität höher sein muß, wenn sie reizen soll, sowie wir gesehen haben, daß die Spannung höher von bR sein muß.

5. Der wirksame Teil der Kondensatorentladung ist, laut obigen Formeln und Deduktionen aus diesen Formeln, für große Kondensatoren sehr klein im Verhältnis zur ganzen Entladung; für kleine Kapazitäten ist sie beinahe derselben gleich; das gleiche gilt vom wirksamen Teil der Energie.

6. Durch entsprechende Berechnungen und Substitutionen kann man aus den obigen Formeln folgende Gleichungen numerisch bestimmen:

Die reizende Kapazität $C = 0{\cdot}796 \frac{a}{b} R$,
die Dauer der Entladung $t = a/b = 1{\cdot}256\ RC$,
die wirksame Quantität $q = 2\ a$,
die totale Quantität $Q = 2{\cdot}8\ a$,
die wirksame Energie $W = 44{\cdot}968\ ab\ R$,
die ganze Energie $W = 49{\cdot}168\ ab\ R$.

Die Bedeutung der Buchstaben und der Koëffizienten wurde schon erläutert; außerdem werden wir noch sehen, was diese Koëffizienten a und b in praxi bedeuten, und wie sie kurzwegs ermittelt werden können.

Wie wir aus dieser kurzen Zusammenstellung sehen, sind die Formeln von Cluzet schon dadurch wichtig, daß sie uns in mathematischer Weise solche Tatsachen erklären, wie das Optimum der Energie, den inaktiven Teil derselben usw., also gewissermaßen von Dubois, Hoorweg u. a. beschriebene Tatsachen in einer mathematischen Hülle vorstellen. Ich bin der Meinung, daß es für den Praktiker genügen wird, wenn er nur sich dessen erinnert, was a und b bei Cluzet bedeuten, wie wir es unter Schlußfolgerung 1 und 4 betont haben. Ich wiederhole bei Gelegenheit nochmals, daß a und b bei Weiss so viel sagten, daß jede reizende Elektrizitätsmenge von einem konstanten Werte a abhängig ist mehr (+) einem Werte (bt), der von der Zeitdauer des Reizes (t) abhängt. Man hat probiert, dasselbe für die Kondensatorentladung statt $q = a + bt$; als $p = a + b\ KCR$ zu schreiben, nachdem ja bei der

Kondensatorentladung die Zeitdauer t vom Produkt der Kapazität und des Widerstandes (RC) abhängen soll. Diese Formel würde nun der Formel von Hoorweg ähnlich sein, wenn wir dieselbe schreiben:

$$P = bKR + \frac{a}{C} \quad \text{statt:} \quad P = aR + \frac{b}{C}.$$

Nachdem wir derart das enge Verhältnis aller dieser Koëffizienten verschiedener Forscher kurzwegs betont haben, gehen wir zu dem experimentellen Teile der Cluzetschen Arbeit über, wo er seine Regeln prüfen wollte und zu der praktischen Bestimmung der Koëffizienten.

Cluzet bestimmte nun, vermittelst einer sehr schönen, aber komplizierten Einrichtung, welche unter anderen Apparaten auch einen Glasfaden erfordert, der durch Schuß einer Kohlensäureflinte zerbrochen wird, zuerst die Zeit des Reizes t, dann die Quantität ($q = it$), welche einem Produkt der Zeit durch Intensität gleicht, und zuletzt aus den Werten der Spannung und der Intensität den Widerstand R. Nachdem er nun verschiedene für seine Formel notwendige Werte von a, b und R bestimmt hatte, verifiziert er den Wert derselben entweder durch Kontrolle des Koëffizienten a, oder durch Messung der Entladungsdauer t, oder endlich durch Bestimmung der sogenannten „inaktiven Spannung“, die, laut Cluzet der Formel bR gleich ist, also dem Minimalreize des konstanten Stromes. Aus dem Vergleich seiner Ergebnisse mit Zahlen, die Cluzet selbst aus Tabellen verschiedener Autoren berechnete, kommt er zum Schluß, daß seine Formel allen Versuchsbedingungen und biologischen Tatsachen entspricht, und daß sie beim Froschnerv für Kapazitäten unter 0·01 Mikro-Farad, beim Menschennerv für Kapazitäten unter 0·1 Mikro-Farad gültig ist. Wie wir sehen, entsprechen die Zahlen der von Hoorweg und Cluzet gebrauchten Kondensatoren denjenigen Grenzen der Kapazität, die ich in meinen klinischen Versuchen seit Jahren brauche.

Ich überlasse der zukünftigen Wissenschaft eine kritische Besprechung der neuesten Theorien und bin der Ansicht, daß die bisherige Polemik noch nicht geschlossen ist, da wahrscheinlich Hoorweg die Formel von Cluzet nicht annimmt. Ich überlasse auch dem gefälligen Leser, über den praktischen Wert der mathematischen und theoretisch wichtigen Formeln sich zu entscheiden und bin der Ansicht, daß komplizierte Versuchsanordnungen nicht immer in der Klinik so leicht verwertbar sind. Wenn schon von meinem einfachen Doppelschlüssel und von meinem billigen Glimmerkondensator in der Literatur geäußert wurde, daß die Methode, welche so präzise Resultate liefert, „doch einen neuen und nicht billigen Apparat notwendig macht, der sich vielleicht nicht so schnell

des Beifalls bei beschäftigten Ärzten erfreuen wird“, so weiß ich wahrhaftig nicht, was ich unparteilich von solchen Methoden äußern muß, die an und für sich wichtig sind, jedoch in praxi Glaskontakte, Flintenschüsse, spezielle Stöpselvorrichtungen und ein Arsenal von mathematischen Formeln erforderlich machen. Ich betone aber ausdrücklich, daß die von den Gesetzen der Neuzeit besprochenen Koëffizienten der Erregung doch für die Wissenschaft sehr wichtig sind, und will sogar hier einige eigene Winke für die Praxis des „beschäftigten Arztes“ geben.

Laut praktischen Schlußfolgerungen von Cluzet, sind die aus seiner neuesten Formel berechneten Koëffizienten a und b approximativ in zwei Größen gleich, deren erste der Elektrizitätsmenge eines Optimalkondensators, die zweite der Intensität eines konstanten Stromes nahe liegen, und zwar derjenigen Menge und derjenigen Intensität, welche die Minimalzuckung hervorrufen. Der Koëffizient a ist beim Menschen, nur für Kapazitäten unter 0·1 Mikro-Farads mit Approximität bestimmt, also in ähnlichen Grenzen wie unsere Optimalentladung; der Koëffizient b ist wiederum aus der Spannung, die eine Minimalzuckung hervorruft (bR) mit Berücksichtigung des Widerstandes R ermittelt, also wiederum in ähnlicher Weise, wie ich die Intensität, mit Berücksichtigung von Spannung und Widerstand, seiner Zeit zu berechnen geraten habe. Es herrscht also zwischen den theoretischen Erwägungen und meinen praktischen Ratschlägen eine gewisse „Affinität“, denn ich will nicht den Ausdruck „Identität“ brauchen. Cluzet berechnete auch diese beiden Koëffizienten (18) aus den Versuchsbeispielen von Dubois und Hoorweg und zitierte für den Deltoïdeus des ersteren:

$$a = 0{\cdot}22.10^{-b} \text{ Coulombs}, \quad {}^{-}bR = 3{,}2 \text{ Volts}$$

und für den Opticus des zweiten

$$a = 0{,}43.10^{-b} \text{ Coulombs}, \quad {}^{-}bR = 4{,}7 \text{ Volts.}$$

Außerdem bestimmte Cluzet aus allen seinen Versuchen und aus denjenigen anderer Autoren (Dubois, Hoorweg, Waller) überall:

für a den Wert von 0·1 bis 0·6 Mikro-Coulombs

für b den Wert von 700 bis 1300 Mikro-Ampères

und für $\frac{a}{b}$ ein konstantes Verhältnis von zirka 0·0002.

Hätte nun Cluzet, der nur meine ältesten theoretischen Arbeiten über Froschnerven berücksichtigt, die Protokolle meiner klinischen Arbeiten, die er am Berner Kongreß wohlwollend erwähnte, auch in der neuesten Arbeit vergleichen können, so hätte er aus dem ersten besten Beispiel gefunden, daß auch meine Mikro-Coulombs und meine Mikro-Ampères in ähnlichen Grenzen schwanken und auch das Verhältnis dieser beiden

Zahlen approximativ konstant bleibt. Ich erwähne dies nicht in polemischem Gedanken, sondern eben deswegen, um die erfreuliche Coïncidenz der Theorie und der Praxis zu betonen, und in weiterer Folge dieselbe sogar zu erläutern und zu erweitern. Es geben also z. B. die Nerven meiner ersten Arbeit aus der Klinik von Professor Notnagel (88 Seite 14 und 15) folgende Werte:

Ulnaris	motorisch	7	Volts, also	0·21 Mikro-Coulombs
„	sensitiv	6	„ „	0·18 „
Facialis	motorisch	9—11	„ „	0·27 „
„	sensitiv	7	„ „	0·21 „
Acusticus		12	„ „	0·36 „

oder bei nicht vollkommen normalen Leuten, wie z. B. im Fall 3, IK.:

Ulnaris	30	Volts, also	0·6 Mikro-Coulombs
Medianus	43	„ „	0·86 „
Radialis	43	„ „	0·86 „

oder im Fall 8, M.B.:

Ulnaris	24	Volts, also	0·48 Mikro-Coulombs
Medianus	34	„ „	0·68 „
Radialis	36	„ „	0·72 „

Ist diese Coïncidenz zwischen meinen Zahlen aus 1899 (0·1—0·8 Mikro-Coulombs) und denjenigen von Cluzet aus 1905 (18) (0·1—0·6 Mikro-Coulombs) ein reiner Zufall oder liegt doch etwas wichtigeres in diesen Tabellen zu Grunde? Schreiben wir nun neben diesen Mikro-Coulombs die Mikro-Ampères unserer Versuche oder die üblichen Intensitätswerte von Stintzing, so werden wir wiederum ähnliche Werte haben, also

Medianus	300—1500,	Mikro-Ampères Mittelwert	900
Ulnaris	200— 800,	„ „	550
Radialis	900—2700,	„ „	1800
Facialis	1000—2500,	„ „	1750

Ist nun hier wiederum nicht der Wert der Intensität beim Medianus (300—1500) demjenigen des Koëffizienten b von Cluzet so nahe, und wird nicht nur in unseren Versuchen nicht nur für den Medianus, so wie bei Cluzet, sondern überhaupt für alle Nerven ein beinahe konstantes Verhältnis beider Koëffizienten zum Vorschein gelangen? Ist diese erfreuliche Coïncidenz wiederum ein Zufall oder eine Folge wichtiger Gesetze?

Da ich seit Jahren die Kondensatorentladung mit den betreffenden Werten des konstanten reizenden Stromes vergleiche, war ich auch immer dessen bewußt, daß ein quasi konstantes Verhältnis zwischen diesen beiderseitigen Zahlen existiert. Ich habe jedoch dieses Verhältnis nie als numerischen Quotient aus mehreren Gründen ausgedrückt. Zuerst

schien es mir nicht logisch, als ich an verschiedenen berühmten Kliniken, wo die Kondensatorentladung noch nicht eingeführt war, die Verwertbarkeit derselben demonstrierte, einen anderen Weg einzuschlagen, als nur die Präzision der Entladung im Verhältnis zum schwankenden Wert der Intensität zu beweisen; ein Dividieren der Entladungsquantität durch die Intensität des konstanten Stromes könnte auf den Praktiker diesen einfachen Einfluß ausüben, daß ich eine an und für sich nicht konstante Methode noch mehr komplizieren will. Zweitens hatte ich gemerkt, daß in der Neuropathologie dieses Verhältnis der beiden Werte oder der beiden Koëffizienten so manchen Veränderungen unterliegt, daß ich mich gefürchtet habe, dasselbe als Maß der Erregbarkeit anzugeben; übrigens habe ich es auch ausdrücklich in einer Mitteilung betont, die der „Pariser Biologischen Gesellschaft“ vorgestellt wurde, daß diese Veränderungen vielleicht von mir ohne Grund befürchtet waren, nachdem ja die Verminderung der beiden Werte einer Nervendegeneration oder Durchschneidung und ihr gegenseitiges Verhältnis sogar der Formelumkehrung der Zuckung entspricht. Ich wiederhole hier diese Bemerkung um so gerner, als eben der Kondensatorentladung neulichst der Vorwurf gemacht wurde, „sie würde vielleicht für die Feststellung der Entartungsreaktion sich nicht so gut wie der konstante Strom verwenden lassen“; meine obige Bemerkung erläutert diesen Zweifel und stimmt vollkommen mit dem, was darüber Cluzet (16 S. 71) und Joteyko (58 S. 159 Z.) äußerten. Der erste hatte Beispiele erwähnt, wo für gesunde Nerven folgende Formeln aus verschiedenen Versuchen ermittelt wurden:

(Aktive Kathode) $q = 29{\cdot}5 + 22{\cdot}4\ t$
(Aktive Anode) $q = 42{\cdot}2 + 49{\cdot}8\ t$

und für degenerierte Nerven umgekehrt:

(Aktive Kathode) $q = 12{\cdot}7 + 17{\cdot}3\ t$
(Aktive Anode) $q = 10{\cdot}5 + 16{\cdot}5\ t.$

Der zweite Verfasser (Joteyko) hatte die Wichtigkeit dieser Zahlen betont, von welcher ohne weiteres ersichtlich ist, daß in den Fällen, wo Umkehrung der Zuckungsformel mit Übererregbarkeit besteht, die Koëffizienten a und b kleiner als in der Norm sind und ihr Minimum haben, wenn die aktive Elektrode die Anode ist. Mit obigen Äußerungen beider Verfasser stimmt meine Pariser Mitteilung, und ich habe es für meine Pflicht gehalten, hier zu betonen, daß ich des konstanten Verhältnisses beider Koëffizienten und der Veränderungen derselben in der Entartung bewußt war, jedoch aus erörterten Gründen mich gefürchtet habe, die Bestimmung desselben als „Charakteristikum der Erregbarkeit“ (caractéristique de l'excitabilité) zu empfehlen. Ich hätte vielleicht eher

den Namen eines Charakteristikums des „erregten“ Gewebes vorgeschlagen, und würde mir vorstellen, daß gewisse Regeln der Erregung trotz ihres weniger oder mehr beschränkten Anspruches auf allgemeine Gültigkeit, dieses Charakteristikum des Erregten quasi mit dem konventionellen Begriffe des Erregenden verbinden. Ich war so frei, schon einige derartige Hypothesen, als vorläufige Mitteilung, der Wiener Akademie und den Pariser Zeitschriften (Annales d'Electrobiologie und C. R. de la Soc. de Biologie) vorzustellen; ich werde dieselben hier kurzwegs weiter entwickeln.

Eine Länge, multipliziert durch eine Breite, gibt immer eine Fläche, und eine Fläche durch eine Breite dividiert, immer eine Länge. So gibt uns auch in der Elektrizitätslehre eine Quantität ($q = Jt$) des Koëffizienten a dividiert durch eine Intensität J des Koëffizienten b immer einen Begriff der Zeit $\left(\frac{q}{J} = \frac{Jt}{J} = t\right)$. Diese Zeit t soll nun konstant sein, und laut Cluzet dem Produkt (RC) von Kapazität und Widerstand entsprechen. Ich erweitere noch die Ansicht von Cluzet und sage, daß ein in elektrostatischen Einheiten ausgedrückter Wert der Zeit t, der einem Produkt von Widerstand und Kapazität nahe liegt, einem Begriff des spezifischen Widerstandes approximativ gleich ist zwar laut Formeln:

$$R = \frac{E}{J} = \frac{M^{1/2} L^{1/2} t}{M^{1/2} L^{2/3} t^2} = \frac{t}{L} = \frac{\text{spezifischer Widerstand (r)}}{\text{Kapazität (C)}}$$

$$R = \frac{r}{C} \text{ oder } r = RC.$$

Meine Hypothese, die ich hier nicht verteidigen will, die mir aber plausibel erscheint, braucht noch hier einer kleinen Erläuterung, um einem Mißverständnis vorzubeugen. Cluzet hat nämlich aus seinen Versuchen eine sinnreiche Observation deduziert, daß der konstante Faktor $\frac{a}{b}$, oder das Verhältnis der reizenden Quantität zur reizenden Intensität $\left(\frac{q}{J} = \frac{Jt}{J} = t\right)$ einem Produkt des Leiterwiderstandes (R) und der mit dem Minimum der Energie reizenden Kapazität (C) nahe liegt, (also $\frac{a}{b} = \pm RC$ oder ganz genau $= 0{\cdot}796 \frac{a}{b}$). Ich sage nun, in weiterer Erweiterung meiner Hypothese, daß diese bei allen Autoren analoge optimale Kapazität, welche mit einem Minimum der Energie eine Minimalzuckung hervorruft, deswegen überall so konstant ausfällt, weil sie wiederum dem Begriffe der

Körperkapazität selbst in der Periode des kurzen Stromschlusses und des konstanten Widerstandes nahe liegt, womit übrigens die spärlichen Zahlen einiger Autoren und meine Versuche über Körperkapazität stimmen würden. Wir würden also sagen, den Satz von Cluzet verändernd, daß der konstante charakteristische Faktor $\left(\frac{a}{b}\right)$ einerseits als Quotient von Quantität und Intensität einer Zeit gleichen muß, und zwar einem Begriffe, der meinen früheren Erörterungen über eine „optimale Entladungszeit" analog ist, andererseits aber einem Produkt von Körperwiderstand und Körperkapazität nahe liegt, der wiederum, laut meiner Hypothese und elektrostatischen Gesetzen, einem Begriff des „spezifischen Widerstandes" entsprechen dürfte.

Ich werde diese Hypothese beispielsweise zu erläutern trachten. Wenn nach Dubois die Körperkapazität ungefähr 0·1 Mikro-Farads beträgt, nach Hoorweg 0·005 und meiner Ansicht nach verschiedenen Mittelwerten (je nach den Versuchsbedingungen) entspricht; wenn also, kurz und gut, die mittlere Größe derselben einer Zahl von 0·05 mikro-Farads gleich sein kann, die wiederum dem Werte der „optimalen Kapazität" des reizenden Kondensators bei allen Autoren entspricht, so wird es wohl nicht ein Zufall sein, daß das Produkt dieser gereizten Kapazität durch den Widerstand (RC), dem Produkt des Widerstandes durch die reizende Kapazität (RC) sehr nahe liegen wird. Aber ich gehe noch weiter und sage, daß dieses Produkt von 3000 Ohms bis 5000 Ohms [aus den Beispielen der in diesem Kapitel zitierten Tabelle von Dubois, Hoorweg und Zanietowski] und von der mittleren Körperkapazität 0·05 Mikro-Farads, also von 150 praktischen Einheiten eine breitere Bedeutung hat. Nachdem nämlich jede „praktische" Einheit des Widerstandes (Ohm) 900000000000 kleiner ist als eine „elektrostatische" Einheit des Widerstandes und nachdem andererseits jede „praktische" Einheit der Kapazität (Mikro-Farad) 900000 so groß ist wie die „elektrostatische" Einheit der Kapazität, so wird ein Produkt (RC) von praktischen Einheiten des Widerstandes nur 1000000 kleiner sein als ein betreffendes Produkt (rC) in elektrostatischen Einheiten. Die obigen 150 praktischen Einheiten, die wir durch Multiplikation von Körperwiderstand und Körperkapazität erhalten haben, würden also 150·10—6 elektrostatischen Einheiten gleichen, und diese Zahl würde uns in elektrostatischen Einheiten den Begriff eines „spezifischen Widerstandes" $\left(r = RC, R = \frac{r}{C}\right)$ einerseits darstellen, anderseits vollkommen den Zahlen von Cluzet nahe liegen, laut welchen der konstante Faktor

$\frac{a}{b}$ für den Medianus = 0·0002 oder 200·10—6 und das Produkt $RC = 0{\cdot}796 \frac{a}{b} = 159{\cdot}10{-}6$ (!). Wenn es also wahr ist, daß laut Cluzet dieser Faktor bei verschiedenen Nerven (3200—1600000 Ohms) derselbe bleibt, und ist meine Hypothese plausibel, daß er eigentlich einem Begriff des „spezifischen Nervenwiderstandes" oder des „spezifischen Gewebewiderstandes" entspricht, so würde es verständlich sein, warum für jeden normalen Nerv dieser spezifische Widerstand derselbe bleibt. Ist aber dieses Verhältnis ein „Maß der Erregbarkeit" oder ein „Charakteristikum" der Nerveneigenschaften?

Ich erlaube mir noch weiter zu gehen und sage, daß dieser spezifische Widerstand (r) laut üblichen Formeln des physikalischen spezifischen Widerstandes einem folgenden Bruch gleicht: $r = \frac{RS}{C}$, wo R den allgemeinen Widerstand, S den Durchschnitt des Leiters, und C die Länge desselben bedeutet. Wenn nun meine Hypothese stimmt, daß der konstante Faktor von Cluzet ($r = RC$) einen spezifischen Widerstand der Nerven oder Gewebe bedeutet, so muß auch die obige Formel über Länge und Querschnitt gelten. Wir sehen nun, daß für einen und denselben Nerven, dessen Querschnitt (s) derselbe bleibt, und dessen allgemeiner Widerstand r in der Periode des kurzen Stromschlusses wenig variiert, dieses $\frac{a}{b} = r$ nur von der Länge (l) abhängig sein dürfte, und das stimmt mit der Äußerung von Cluzet, daß seine charakteristische konstante Zahl $\left(\frac{a}{b} = r\right)$ „nicht von dem Widerstand des Nerven, sondern vielmehr von der Elektrodenentfernung" (18 S. 85), also von der eingeschalteten Nervenlänge, abhängig ist. Variiert aber hingegen dieser „Gesamtwiderstand" R in gewissen Grenzen, wobei doch der spezifische Widerstand r derselbe bleibt, so muß $\left(\text{laut } r = RC \text{ oder } R = \frac{r}{C}\right)$ bei demselben konstanten spezifischen Widerstande r die Kapazität C im umgekehrten Verhältnisse wie der Gesamtwiderstand variieren. Wir haben dies in den ersten Kapiteln betont und auf anderen Gründen bewiesen, daß der Kondensator des menschlichen Körpers immer lecher wird, immer mehr seine kondensierende Eigenschaften verliert und immer mehr dem Jonisationsprozesse des fließenden Stromes einen Widerstand leistet, zu Ungunsten der immer kleineren Kapazität des Körpers ($R \gtrless C$). Dieses antagonistische Verhältnis einer Kapazität zu einem Widerstande

ist schon aus dem Vergleiche der Formeln für Kapazität und Widerstand $\left(R = \frac{rl}{S}, C = a\frac{S}{4\pi l}\right)$ ersichtlich, woraus das reziproke Verhalten von $\frac{l}{S}$ und $\frac{S}{l}$ deutlich zum Vorschein kommt. Dieser Antagonismus ist übrigens in der Physik bekannt und wurde sogar in der Biologie von Dubois erwähnt, sowie von Hoorweg in der äußerst interessanten Betrachtung von Kapazität und Self-Induktion. Ich bin nur der Ansicht, daß nur in der Elektrobiologie wenigstens in jenen Versuchen näher berücksichtigt werden muß, wo die Kapazität des reizenden Kondensators derjenigen des gereizten Körpers nahe liegt, und wo, laut meiner Erfahrung, eben die konstanten Resultate der Optimalentladung zu suchen sind. Selbstredend spreche ich hier nicht von einem „absoluten" Antagonismus beider Größen, sondern von einem „approximativen", von einer antagonistischen „Richtung" dieser Begriffe, sowie z. B. auf zwei Kugeln vom Radius R, die mit einer gewissen Elektrizitätsmenge E geladen sind, Spannungen, Kapazitäten und Dichten sich proportionell verhalten, jedoch bei doppeltem Radius trotz gleichnamiger „Richtung" der Größenzunahme, eine jede derselben nicht denselben Wert erreicht, sondern die Kapazität doppelt so groß wird, während der Potential nur $^1/_2$mal und die Dichte nur $^1/_4$mal so groß werden. Wenn Dubois und Cornaz meinen, daß „die Kapazität den Widerstand in der variablen Periode vermindert, resp. aufhebt, wenn Hoorweg sagt, daß „die kondensatorische Wirkung der Self-Induktion antagonistisch ist und die variable Zeit der Stromwirkung zu verkürzen trachtet", so vermute ich, daß mein populärer Vergleich des Körpers mit einem Kondensator, der unter dem Einflusse des Stromes immer „lecher" wird und zu Gunsten des Widerstandes seine kondensatorischen Eigenschaften verliert, auch nicht ohne Wert ist. Aus den Formeln $r = RC$ und $R = \frac{rl}{S}$, die ich soeben besprochen und verglichen habe, würde ich also, wie schon gesagt, deduzieren:

1. Daß in dem ersten kurzen Stromschlußmoment der Widerstand nur von der Länge (oder Elektrodenentfernung) abhängig zu sein scheint und deswegen auch bei doppelter Elektrodenentfernung doppelte konstante Werte liefert;

2. daß dann während des zeitlichen Verlaufes der variablen Periode dieser körperliche Kondensator immer mehr Strom durchläßt und den Charakter eines Widerstandes vorstellt, wobei doch der „spezifische Wider-

stand" r konstant bleibt oder wenigstens beinahe konstant (also vielleicht $r = \alpha RC$ und nicht $r = RC$);

3. daß endlich in der sogenannten permanenten Stromperiode, mit der wir nicht verwechseln dürfen, daß eben in derselben der Widerstand variabel ist, die notorischen Veränderungen desselben von 500000 Ohms auf 500 Ohms in entgegengesetzter Richtung geschehen als die der variablen Periode, und zwar in sehr beträchtlicher Weise, sodaß wir sogar in der Praxis gewöhnlich den Strom einige Minuten geschlossen lassen müssen, um den Endwert dieser Schwankung („relatives Widerstandsminimum") zu bestimmen, wenn wir nicht mit Hilfe von schmerzhaften, hohen Stromstärken das „absolute Widerstandsminimum erörtern wollen, das sich auch durch weitere Vermehrung der Stromstärke nicht weiter vermindern läßt.

Ich habe mir nun, zur Erklärung dieser Vorgänge, folgende hypothetische Frage aufgestellt. Sollte es wahr sein, daß das Produkt von Widerstand der Gewebe und Kapazität (RC) des reizenden Kondensators in gewissen von Cluzet bestimmten Grenzen desselben, die wiederum den Grenzen der Körperkapazität (laut meiner Versuche und den spärlichen Zahlen anderer Autoren) nahe liegen, einem konstanten Faktor gleich ist, und ist auch meine Hypothese wahr, daß dieser konstante Faktor dem Begriff eines spezifischen Widerstandes nahe liegt, so können wir folgende Frage aufstellen. Wenn die Entfernung der Elektroden (l) dieselbe bleibt, und doch der Widerstand (R) während des Versuches schwankt, obwohl der spezifische Widerstand (r) derselbe bleibt, wie muß dann der Querschnittwert (S) $\left(\text{laut } r = \frac{Rl}{S}\right)$ schwanken? Oder mit anderen Worten: über welchen Querschnitt der Gewebe, der konzentrischen fibrillären Muskel- und Nervenschichten, verbreitet sich der jeweilige Strom während seines Verlaufes und während der bedeutenden Widerstandschwankungen?

Wollen wir nun den Wert unseres „spezifischen Widerstandes" (r) in die obgenannte Formel $\left(R = \frac{rl}{S}\right)$ substituieren, und die Länge (l) in üblichen Einheiten ausdrücken, so können wir quasi für jeden Widerstand R berechnen, was für einen Querschnitt s der Gewebe oder des Nerven in Betracht kommt, und wir können uns auch dann überzeugen, daß der Strom im Stadium des fixen Widerstandes einen sehr kleinen Querschnitt zu passieren scheint. Ich würde mir die Sache derartig vorstellen, daß der Strom einen sehr kleinen Austausch von Elektrizität auf geradem Wege durch die trockene Epidermis von hohem Widerstande

gestattet, sondern auf Umwege, durch die feuchten Gewebe von kleinerem Widerstande jene Strömungslinie trifft, die den bisherigen Begriffen von „Kraftlinien der Jonenlehre" entsprechen. Die Jonenlehre belehrt uns nämlich, wie es auch seiner Zeit Frankenhäuser in sehr interessanter Form zusammengestellt und erörtert hatte, daß jedes im Körper sich befindende Anion, und zwar abseits der Verbindungslinie beider Elektroden, einer derartigen Kraft der heranziehenden Anode und der abstoßenden Kathode unterliegt, daß es sich in einer Bogenlinie mit wachsender Geschwindigkeit der Anode nähert; das Kation unterliegt analogen Wirkungen der einzelnen Komponenten des Kräfteparallelogramms. Der Strom dürfte also im ersten Moment nicht durch die ganze Hand (z. B. vom Ellbogen zu den Fingern), sondern durch einen ziemlich kleinen Querschnitt, (z. B. des Ulnaris), längs einer Kraftlinie strömen, die um so besser den Nerv oder vielleicht dessen mittlere Schichten oder sogar dessen kleinste „Neurofibrillen" trifft, je oberflächlicher die üblichen Reizpunkte liegen, was den Diagonalen des üblichen Gitterwerkes der Jonenbewegung entspricht und auch nebenbei unserer hypothetischen Berechnung des Querschnittes. Dies wäre hauptsächlich für einen äußerst kurzen Stromschluß oder eine Kondensatorentladung gültig, die einer „Explosion" von weniger dichtgedrängter Jonen gleich ist; je länger aber die Entlladungskurve ist, je mehr wir uns dem konstanten Strome nähern, also quasi einer Wirkung von zahlreichen, nicht gedrängten Jonen, desto mehr kommen die üblichen Veränderungen des Widerstandes zum Vorschein, desto mehr Jonen drängen durch die Haut, desto größer ist auch der von Stromlinien passierte Querschnitt, was eben der Formel $R = \frac{rl}{S}$ entsprechen würde, wo bei gleicher (l) Länge und konstantem spezifischem Widerstande (r) jeder Abnahme des Körperwiderstandes eine Zunahme des Querschnittes entspricht, wobei jedoch immer die Länge und der spezifische Widerstand konstant bleiben. Wenn wir außerdem berücksichtigen, daß in den hintereinander geschalteten verschiedenartigen feuchten und nicht homogenen Leitern des Körpers, nicht nur Jonisationsprozesse, sondern auch spezifische Vorgänge an den Elektroden vorkommen, die sich mit den anderen zusammenfügen, wenn wir bedenken, daß unter dem Einfluß der Elektrodenflüssigkeit die Epidermis quillt und im zeitlichen Verlauf der Stromwirkung der Austausch von Elektrizität auf kürzestem oberflächlichem Wege geschehen kann, so werden wir wohl verstehen, warum für den Praktiker die kurze Kondensatorentladung so nützlich ist und so konstante Resultate wenigstens im Verhältnis zu

anderen Methoden liefert. Die Kondensatorentladungen hab' ich auch dem Praktiker als die möglichst einfache und billige Methode der Reizung empfohlen, ohne in der alltäglichen Praxis verwickelte mathematische Formeln hineinzubringen, wie wichtig und wertvoll sie auch sind, und ohne zu vergessen, daß ein mir vollkommen bekanntes konstantes Verhältnis von Quantität und Intensität, laut obigem, eigentlich ein Charakteristikum des **erregten** Gewebes ist. Verschiedene Regeln der **Erregung** verbinden uns nun dieses Charakteristikum des **erregten** Nerven mit dem Maß des **erregenden** Stromes, und wir dürfen in der alltäglichen Praxis nicht diese drei Begriffe mischen. Wollen wir nun die Eigenschaften des erregten Gewebes bestimmen, so werden wir von dessen Widerstand, Erregbarkeit, Kapazität usw. reden, und wir können auch wohl sagen, daß ein spezifischer Widerstand des Nerven z. B. ein konstantes Charakteristikum dieses Gewebes gebildet, sowie in unserem Beispiel mit dem ausfließenden Wasser, die Zähigkeit oder der „spezifische Widerstand" der Flüssigkeit, ein konstantes Charakteristikum derselben ist. Diese Zahl spielt wohl eine Rolle sowohl im Gesetze des Ausflusses, als auch im Gesetze der Erregung, es müssen aber in einem solchen Gesetze alle Faktoren des Ausflusses oder der Erregung berücksichtigt werden, und ein Faktor darf nur als Charakteristikum des **„Erregten"**, aber nicht der **„Erregung"** gelten. Wollen wir zuletzt weder das „Erregte", noch die „Erregung" sondern das **„Erregende"** messen, so führen wir irgend ein praktisches Konventionsmaß ein; im Beispiel des Ausflusses werden es ein Liter, ein Zentimeter, eine Sekunde sein, im Beispiele der Entladung, eine vereinbarte Kondensatorgröße, die billig und handlich ist, und die Versuchsbedingungen wenig beeinflußt. Als solches praktisches Maß für präzise klinische Versuche hab' ich den Kondensator, der die kleinste, optimale Energie verbraucht (0·01—0·05) anempfohlen, also die Grenzen der optimalen Energie als Grenzen der bequemsten Entladung betont, nicht aber die Energie selbst als Maß der Erregung, obwohl die Berücksichtigung derselben für Vergleiche der erregenden Energie mit der ausgelösten Energie des Muskels oder für die neuesten Theorien über die Energiefortpflanzung durch die „Neurofibrillen" des konzentrisch gebauten Nervenkondensators vielleicht doch von Belang wäre. Wer weiß, ob doch diese Explosion der Entladung längs der Stromlinie nicht jene Kapazität des ziemlich konstanten Nervenkondensators oder Nervenkabels ladet und dadurch reizt? Dies wäre in engem Zusammenhang mit einer alten Äußerung von Dubois, daß „beim Stromschluß nicht ein Strom, sondern eine Kondensatorentladung (Körperkapazität und Voltspannung) wirksam ist", und mit den Erörterungen

von Hoorweg, laut welchen sowohl die Nerven durch Neurofibrillen wie Drähte leiten können, als auch wie Kernleiter oder Kabel die Energie der intermediären Erregung beiderseits propagieren. Im letzten Fall würden laut Hoorweg die Isolatoren des Kabels durch die Polarisation der Flüssigkeit, laut mir, vielleicht durch die chemischen Unterschiede der elektrolytischen Körpersäfte vertreten.

Die obige Abschweifung bei Seite lassend, wiederhole ich, daß für präzise klinische Versuche der Optimalkondensator von Wert ist; daß aber für klinische Zwecke der alltäglichen Praxis wir mit sehr guten und verhältnismäßig konstanten (im Vergleich zu den galvanischen und faradischen Werten) Resultaten einen ganzen Mikro-Farad oder dessen Hälfte brauchen können. Dabei drücken wir die Spannung V in Volts aus, und der Leser kann selbst die Quantität in Coulombs ($Q = CV$) oder die Energie in Ergs ($E = SCV^2$) berechnen. Es wurde schon mehrmals im Text betont, inwiefern diese Berechnung der Energie von Belang ist; auch wäre es interessant, diese Energieeinheiten in Watts oder Joules umzurechnen, die heute in der Technik überall eine so wichtige Rolle spielen. Hier kommt noch der Begriff der Entladungszeit in die Rechnung, von welchem wir schon im Text mehrmals gesprochen haben, und welcher (nach Cluzet) bei Kondensatoren von 0·01 Mikro-Farads bis 0·0014—0·0047 Sekunden, für Kondensatoren von 0·0001 Mikro-Farads bis 0·00007—0·00033 Sekunden beträgt. Es existiert nun, laut bekannten physikalischen Gesetzen, ein folgender Zusammenhang zwischen der Zeit und den Maßen der elektrischen Stromenergie:

$$1 \text{ erg} = \frac{1 \text{ Volt Coulomb}}{10^7}$$

$$1 \text{ Joule} = 10^7 \text{ ergs}$$

$$1 \text{ Watt} = 1 \text{ Joule per Sekunde}$$

$$1 \text{ Sekundenerg} = \frac{1 \text{ Watt}}{10^7} = \frac{1 \text{ Voltampère}}{10^7}$$

Für die alltägliche Praxis genügt aber, meiner Ansicht nach, die Angabe der Volts, oder eventuell der schon berechneten Coulombs und Ergs vollkommen. Was wir aber nie versäumen dürften, wäre, die Normalelektroden zu brauchen, oder ihre Größe anzugeben [in allen meinen obigen Beispielen war dieselbe 5 cm² und 2·5 cm²], vor allem aber den gereizten Nerv genau zu bezeichnen, und nicht solche Ausdrücke zu brauchen, wie „Nerf de l'homme", „Menschenkörper" usw., die wir leider in ernsten Arbeiten finden. Ich schließe diese Erörterungen mit der Bemerkung, daß die Kondensatorentladung, in welcher Form sie auch gebraucht wird, immer vorzügliche klinische Resultate liefert, schon dadurch, daß sie die

Erregbarkeit wenig beeinflußt, Resultate liefert, die wenig von der Hautdurchfeuchtung abhängig sind, in kleinstem Maße die biologischen Eigenschaften der Nerven verändert, ähnliche Resultate bei verschiedenen Autoren und verschiedenen Individuen liefert, und zuletzt, laut meinen neuesten Hypothesen, das Studium des spezifischen Widerstandes und der Kapazität des Körpers selbst oder der Grenzen dieses Begriffes ermöglicht.

Bevor ich nun meine Schlußfolgerungen in Form einiger Sätze zusammenfasse und meine bisherigen Erwägungen mit einigen Bemerkungen erläutere, will ich noch zum Schluß betonen, daß es mir hier unmöglich ist, die ganze Literatur zu berücksichtigen. Aus praktischen Gründen spreche ich hier nicht von vermischter Anwendung des Kondensators mit dem Induktionsstrom, von verschiedenen Apparaten von d'Arsonval, von dem Vergleich direkter und alternativer Entladungen (nach Sudnik) usw. Es war mein Wunsch, die direkte Kondensatorentladung allein an und für sich hier zu besprechen, und nicht dieselbe mit anderen Methoden zu mischen, von welchen ja die Lehrbücher sagen, daß sie nicht präzise Resultate liefern. Dadurch ist aber keineswegs gesagt, daß z. B. die Versuche von Sudnik nicht präzis sind. Durch Vergleich von direkten Kondensatorentladungen mit alternativen (Entladung in eine Induktionsspule) hatte der Verfasser gemerkt, daß Entartungsreaktionen verschiedenen Grades und verschiedener Gattung sind, nachdem dieselben nicht gleichmäßig auf beide Entladungen reagieren. Dieser wichtigen Observation ist gewissermaßen diejenige von Cluzet ähnlich, welcher mir schriftlich mitteilt, daß manchmal Kondensatorentladungen keinen Effekt ausüben, wo andere Methoden noch wirken, wie ich es auch im Jahre 1899 in gewissen Krankheitsstadien gemerkt und beschrieben hatte. Wie gesagt, wollte ich aber hier nur die direkte Entladung an und für sich besprechen. Deswegen muß ich leider verzichten, hier näher von den interessanten Gesetzen von Lapicque für langsam kontraktile Gewebe zu sprechen. Höchstens möchte ich nun daran erinnern, daß auch Fr. Lapicque sich an unsere Begriffe nähert („se rapproche de la conception", 60, S. 434) und die „Konstanz der Energie zwischen gewissen Grenzen" (60 S. 439) anerkennt, die ich gesehen habe, jedoch nicht als Maß der Erregung angegeben habe, sondern höchstens als Maß der Grenzen, zwischen welchen eine in beliebigen Grenzen gemessene Entladung praktisch verwertbar ist. Auch ist der Satz von Sudnik (75) über die Möglichkeit der Diagnose „du dégré de la légion" mit meinem alten Satz über genaue „Observation des Krankheitsgrades" wohl verwandt. Ich betone diese Koïnzidenz verschiedener Begriffe nur in demselben Zwecke, in welchem ich die Harmonie verschiedener unabhängiger Ver-

suche im Text beschrieben habe, und bin der Ansicht, daß der Praktiker im großen ganzen von polemischen Theorien fern bleiben und aus demselben nur denjenigen Teil für seine praktischen Bedürfnisse entnehmen muß, der durch die Harmonie verschiedener Forschungen auf sicheren Füßen steht, und nur diejenige Form, deren Anwendung am Krankenbett sich bewährt hat. Dadurch ist also nicht gesagt worden, daß der Praktiker die Theorie ignorieren muß. Im Gegenteil habe ich im Motto der vorliegenden Mitteilung das Streben der Wissenschaft zur präzisen Form der Mathematik betont, und finde, daß nur dann dieses Streben möglich sein wird, wenn eben auf dem Wege präziser Messung Theorie und Praxis Hand in Hand gehen. Andererseits aber ist es doch sicher, daß jede neue Entdeckung einen Schritt vorwärts bedeutet, wenn sie sich als Erweiterung des Alten ergibt oder vice-versa das Unnutzbare des Alten beweist; wenn aber das Neue neben dem Alten steht, ohne dasselbe aufzunehmen, wie es Langellan gesagt hatte, oder ohne dasselbe umzuwerfen, wie ich hier hinzufüge, so muß der Arzt, der sich nur an einen sicheren Wegweiser halten will, dasjenige benutzen, was vom Theoretiker und vom Praktiker in vollem Einklang beobachtet wurde. Ich habe mich in allen meinen bisherigen Arbeiten in die Haut dieses vielbeschäftigten Arztes gekleidet, der doch so oft, trotz seiner Beschäftigungen, dem Theoretiker manches interessante Thema geliefert hat, und habe auch immer danach getrachtet, bis zur vorliegenden Mitteilung, eine Brücke zwischen den schwierigen Formeln und den alltäglichen Beobachtungen in Form von praktischen klinischen Ratschlägen zu bauen. Vor allem habe ich aber immer dasjenige betont, was sowohl von der Theorie als von der Praxis bestätigt wurde, das Unsichere oder noch nicht praktisch geprüfte bei Seite lassend; aus diesem einzigen Grunde hab' ich auch hie und da den Einklang meiner klinischen Zahlen mit den unabhängigen Resultaten der Theorie berücksichtigt und nur dagegen energisch protestieren müssen, was in falscher Weise wiederholt oder mißverstanden wurde. Ich hätte auch den Zweck meiner Zusammenfassung erfüllt, wenn ich, nach so vielen Arbeiten meiner Feder über diesen Gegenstand, nochmals heute die Aufmerksamkeit der Kollegen auf die Methode lenke, deren Ergebnisse von so vielen Forschern, die meine Experimente nachprüften, bestätigt wurden, und deren praktische Folgerungen mit dem Inhalt der neuesten Erregungsgesetze in Einklang stehen.

Schlußfolgerungen (1—18).

1. Die Kondensatorentladungen eignen sich in vorzüglicher Weise zur Reizung von gesunden und kranken Nerven und Muskeln und zur Beobachtung von interessanten quantitativen Veränderungen der Erregbarkeit und qualitativen Veränderungen der Reaktionsform, besonders von Exacerbationen, Remissionen, und vom „Grade“ des wahrscheinlich komplizierten Entartungsbegriffes (dégré de la légion).

2. Die bisher gebrauchten Methoden teile ich in direkte Entladungsmethoden und indirekte, d. h. solche, die mit dem konstanten oder faradischen Strom kombiniert werden. — Die direkten Entladungen, welchen die vorliegende Mitteilung ausschließlich gewidmet ist, teile ich wiederum in zwei Kategorien, je nachdem der Kondensator mit dem Körper in einen Kreis verbunden wird, oder durch alternative Umschaltung in denselben entladet wird.

3. In der ersten obgenannten Kategorie haben wir, meiner Ansicht nach, mit einem gewissen Ausgleich der Elektrizität zwischen „reizendem“ Kondensator und „körperlichem“ Kondensator zu tun, laut physikalischen Gesetzen der „Kaskadenentladung“, auch in gewissen Fällen, mit störendem unipolarem Einfluß des mit dem Körper ständig verbundenen Poles, umsomehr, als laut neueren Ansichten der Strom nicht „geschlossen“ zu sein braucht, um zu reizen.

4. Ohne die Wichtigkeit der „unipolaren“ und der „indirekten“ Methoden zu leugnen, habe ich mich seit Jahren für die bipolare alternative Entladungsmethode entschlossen und am Krankenbett eine Reihe von Untersuchungen auf dem Gebiete der Motilität, Sensibilität, Leitungsgeschwindigkeit und Myographie durchgeführt; zu den Ergebnissen dieser Versuche, welche dem Leserkreis der vorliegenden Zeitschrift größtenteils bekannt sind, füge ich heute einige neue Hypothesen und Versuche über Körperkapazität und spezifischen Leitungswiderstand. Die Versuche der früheren Jahre wurden größtenteils von solchen Forschern wie Mann, Cohn, Bernhardt usw. nachgeprüft und bejaht; die neuesten stehen wiederum in engem Zusammenhang mit den modernen Gesetzen der Elektrobiologie.

5. Beim Gebrauch der bipolaren Entladungsmethode, sowie jeder Methode überhaupt, dürfen wir nicht die Eigenschaften des erregten Gewebes mit dem Maße der erregenden Kraft und den Gesetzen der Erregung, welche quasi das „Erregende“ mit dem „Erregten“ verbinden, verwechseln; wir geraten sonst in Konfusion, und meine obige Ansicht

wäre derjenigen von Boruttau verwandt, welcher ausdrücklich betont, daß „eine exakte Formel für die Beziehungen zwischen Elektrizitätsbewegung und muskulärem Reizerfolg auf eine beschränkte Gültigkeit wird Anspruch machen können“.

6. Was nun in erster Linie die erregten Gewebe anbelangt, mache ich den Leser auf die verhältnismäßig wenig berücksichtigte Eigenschaft der Körperkapazität aufmerksam und finde, daß, laut meinen Versuchen, die spärlichen betreffenden Zahlen von Hoorweg, Dubois, de Metz, Salomonson nur deswegen schwanken und differieren, weil dieselben unter verschiedenen Versuchsbedingungen durchgeführt wurden. Ich habe alle Mittelwerte der Autoren ermitteln können und fasse deren Abhängigkeit in folgendem Gesetze (sub 7) zusammen.

7. Die im ersten Momente des Stromschlusses ziemlich konstante Körperkapazität ist der Größe der Belege und dem spezifischen dielektrischen Koëffizienten des Körpers proportional; sie ist dem Abstand der Belege reziprok. — Als „Isolatoren“ dürfen wir nicht nur die vom hohen Widerstand der Haut geschützte Körpermasse zwischen den Belegen (Elektroden) betrachten, sondern auch, je nach der Dauer des immer tiefer eindringenden Stromes, die konzentrischen Hüllen der spezifisch fibrillär gebauten Nerven und Muskeln, welche verschiedene spezifische chemische und elektrolytische Eigenschaften besitzen.

8. Ohne hier auf weite Abschweifungen über Leitungswesen und Leitungsgesetze eingehen zu können, betone ich nur so viel, daß die Kapazität der erregten Gewebe während des Stromverlaufes Schwankungen unterliegt, die in reziproker Richtung zu denjenigen des Widerstandes verlaufen. Nähere Einzelheiten über das Verhalten der Jonen im „körperlichen Kondensator“, der immer unter dem Stromeinfluß, meiner Ansicht nach, lecher wird, findet der Leser im Kapitel XI.

9. Es kann auch der Körper mit einem Kabel verglichen werden, das Elektrizität leitet und anhäuft, und ich finde, daß die diesbezüglichen wichtigen Erörterungen Hoorwegs zu wenig Beachtung gefunden haben. — Der Leser wird im Text finden, wie ich mit einem Körper einen zweiten Körper gereizt und auch entsprechende Kabelgrößen substituiert habe. — Die Kapazität des „körperlichen“ Kondensators oder Kabels kommt hauptsächlich dort in Betracht, wo zur Reizung eine Kapazität gebraucht wird, die derjenigen des Körpers nahe liegt, und ich habe im Kapitel X meine Hypothese über die nahen Werte der „optimalen“ Kapazität und der Körperkapazität geäußert.

10. Nachdem wir in erster Linie (sub 6—9) die Eigenschaften der erregten Gewebe besprochen haben, können wir in zweiter Linie fragen,

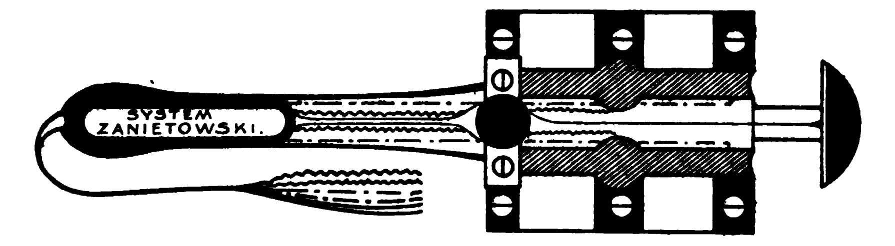
welches Maß der erregenden Kondensatorentladung das beste wäre und welche Kondensatorgröße die bequemste für den Kliniker ist? Diese Frage muß wiederum in einige Teile (11—14) zerfallen.

11. Für präzise klinische Versuche ist wohl diejenige Kondensatorgröße die beste, welche möglichst konstante Resultate liefert und nicht weit vom Werte der Körperkapazität liegt. Als solche Größe habe ich seit Jahren diejenige empfohlen, welche das Minimum der Energie zur Hervorrufung einer Minimalzuckung verbraucht, und meine zahlreichen klinischen Versuche stimmen darin sowohl mit der wichtigen Theorie von Hoorweg, als mit den spärlichen Zahlen anderer Autoren, welche sich manchmal mit der Angabe einiger Beispiele und der allgemeinen Benennung „Menschennerv“ begnügt hatten.

12. Eine falsche Vermutung, daß ich „die Energie als Maß der Erregung“ angegeben hätte, die sich auch hie und da in der Literatur herumzieht, beruht wenigstens auf einem Mißverständnis, nachdem ich nur die Quantität der das Minimum der Energie auslösenden Entladung anempfohlen habe, nicht aber die Energie selbst „als Maß“. — Daß trotzdem die Berechnung der Entladungsenergie für den Vergleich derselben mit der Energie der Muskelzuckung und für die Frage der Ladung des „körperlichen Kondensators“ interessant ist, bleibt wohl auch heute sicher und unversehrt; auch ist die von mir am Krankenbette konstatierte Konstanz der optimalen Energie im innigsten Zusammenhang mit den neuesten Forschungen von Fr. Lapicque. (Nr. 60, S. 439.)

13. Für die alltägliche Praxis erfordert die Anwendung der sub 11—12 besprochenen Optimalkapazität öfters hohe Spannungen, besonders in Krankheitsfällen, wie es aus den Tabellen des Kap. XI ersichtlich ist. — Wir haben auch deswegen mit Dr. Mann in unserem klinischen Apparat 1 μF. u. 0·5 μF. eingeführt, und ich betone, daß die maßgebenden Spannungen (s. auch 68, 70) konstant sind, obwohl vielleicht nicht so präzis, jedenfalls aber in viel kleineren Grenzen schwanken, wie diejenigen der älteren Methoden, nachdem ja die Kondensatorentladung durch ihren rapiden Verlauf wenig merkliche elektrotonische Veränderungen der Erregbarkeit und Widerstandsschwankungen hervorzurufen imstande ist. — Die Konstanz des Widerstandes steht gewissermaßen im Zusammenhang mit den Erörterungen von Mann über faradischen Leitungswiderstand; (62) die Größe der konventionellen Normalelektroden muß jedoch in Vergleichsversuchen genau angegeben werden, laut dem, was wir in den ersten Kapiteln vom Verhältnis der Kapazität und Dichte gesagt haben.

14. Als billigen handlichen Apparat kann ich auch meine Doppelschlüsselelektrode empfehlen, die nach meinen Zeichnungen vom Universitätsmechaniker Grodzicki in Krakau und vom Mechaniker Kerker in Breslau konstruiert wurde; dieselbe steht in Verbindung mit zwei



Kondensatoren aus konzentrischen Glimmerplatten und Staniolplatten, deren Kapazität sich direkt aus den Formeln der ersten Kapitel berechnen läßt. Mit Hilfe dieser Elektrode, sowohl wie mit dem Apparat, der unter 13 erwähnt wurde, kann man in approximativen Grenzen die Koëffizienten der Erregung bestimmen, und zwar durch einen Vergleich einer kleinen Entladung mit derjenigen des Mikrofarads oder mit dem konstanten Strom (a und b). — Was ich überhaupt von den Erregungskoëffizienten und deren Wert für die Ergründung pathologischer Prozesse denke, habe ich ausführlich im Kapitel XI betont, sowie auch das Verhältnis derselben zur alltäglichen Praxis; eine Zusammenfassung meiner diesbezüglichen Meinung in knappen Worten könnte hier an Ort und Stelle mißverstanden werden.

15. In demselben Kapitel (XI) findet der Leser auch einige Bemerkungen über das Verhältnis der Erregungsgesetze zu meinen neuesten Hypothesen über den spezifischen Widerstand der Gewebe, dessen Wert sowohl dem Produkt von Kapazität und Widerstand der Gewebe (RC), wie auch dem zeitlichen Begriff der zum Verlauf einer Optimalentladung erforderlichen Zeit nahe liegt. — Dieser Faktor wäre ein von Schwankungen des Widerstandes und der Kapazität unabhängiges Charakteristikum der gereizten Gewebe und läßt sich in einer Weise ermitteln, die in innigstem Zusammenhang mit den modernen Koëffizienten von Cluzet steht; er ist auch, meiner Ansicht nach, der Latenz des Reizes proportionell. —

16. Zuletzt findet der Leser in dem Kapitel XI einige Tabellen aus zahlreichen klinischen Protokollen. Eine Zusammenstellung von sogenannten absoluten „Erregbarkeitswerten“ ist deswegen hier schwer, weil ja bei jedem Kondensator verschiedene Energien und

Quantitäten herauskommen, und ich habe deswegen nur Vergleichswerte für verschiedene Kondensatoren zusammengestellt. — Der Leser kann sich jedoch aus diesen Tabellen überzeugen, daß:

a) die Zahlen meiner klinischen Optimalentladung mit den spärlichen Beispielen anderer Autoren, trotz verschiedenen Materials und verschiedenen Widerstandes (Basedow und Sclerodermie!) stimmen, was für die Konstanz der Methode spricht (Tabelle B);

b) daß aus praktischen Gründen höhere Kapazitäten als die optimale anzuwenden sind, besonders bei Kranken und Kindern (Tabelle A), wobei jedoch die Schwankungen der Normalwerte kleiner, als bei älteren Methoden sind (Tabelle C);

c) daß die „Erregbarkeitsreihe" der Nerven der üblichen galvanischen und faradischen Tabelle analog ist;

d) daß bei verschiedenen Krankheiten interessante Befunde zu beweisen sind, die übrigens dem Leserkreise der vorliegenden Zeitschrift ziemlich bekannt sind und die ich deswegen hier nicht ausführlich wiederholen will (Exacerbationen in der Tetanie, frühe Diagnose der Paralysen, Semeïologie der Muskelkurven, polyneuritische Reaktion, negativer Befund der Dystrophie, Vergleich der Myotonie und Myasthenie usw.).

17. Ich behalte mir vor, später näheres über die Verschiebung der Optimalentladung bei Kranken und über den Wert des spezifischen Widerstandes zu sprechen und habe hier nur die wichtigsten Grundlagen meiner neuen Hypothesen und Versuche betont; auch lasse ich die aus meinen früheren Arbeiten ersichtlichen Kapitel über therapeutische Anwendung von Kondensatoren beiseite, nachdem in meinen Abhandlungen, sowie in denjenigen Manns die Zweckmäßigkeit der Tetanisierung von paretischen Muskeln und die Bedeutung der Kondensatorentladungen in der Kinderpraxis genug betont wurde; zuletzt betone ich nur flüchtig die pathognomische „polare Reaktionsinversion" und die Schwankungen der Coëfficienten (a u. b) gleichzeitig mit den Veränderungen der faradischen (a) und galvanischen (b) Erregbarkeit. (Siehe auch Nr. 19, 1906, S. 520.) Die Anwendung der mit Induktionsströmen kombinierten (indirekten) Entladungen gehört, wie gesagt, nicht zum Inhalt der vorliegenden Mitteilung, welche nur direkten Entladungen gewidmet ist; ich erwähne jedoch für diejenigen, welchen die Sache weniger zugänglich ist, daß, laut meinen Versuchen und den schönen Arbeiten von Sudnik, die indirekten alternativen Entladungen einen guten Einfluß auf vasomotorische und sekretorische Störungen

auszuüben scheinen, während die direkten sich bei Neuralgien, Gastralgien, peripherischen Paralysen usw. sehr gut bewähren.

18. Ich schließe meine Schlußfolgerungen mit der Bitte, der praktische Arzt möge der Methode seine Zeit und Aufmerksamkeit widmen. — Alle technischen Einzelheiten und zugänglich dargestellten physikalischen Vergleiche, die ich hier nicht wiederholen will, findet der Leser in den ersten Kapiteln zusammengestellt; alle näheren Erörterungen in den im Literaturverzeichnis erwähnten Abhandlungen. — Mein Zweck lag auch hauptsächlich darin, die Grundlagen und die klinische Verwertbarkeit der Methode hier systematisch zu besprechen und das Verhältnis meiner langjährigen klinischen Versuche zu den Gesetzen der Neuzeit und den Bedürfnissen der alltäglichen Praxis zu betonen, wodurch auch der präzisen Forschung ein breiterer Weg in praxi gebahnt werden kann.

Literaturverzeichnis.[1])

1. d'Arsonval. Archives de Physiologie 1889.
2. — Comptes rendus XII. 1893.
3. — Arch. de Physiol. 22 p. 159.
4. — Comptes rendus V. 338.
5. — Arch. de Physiol. 21. 246.
6. Abelous. C. R. de la Société de Biologie. 1900.
7. Boudet. Electr. médicale. 1880.
8. Cornaz. De l'emploi du Voltmètre. Bordeaux 1898.
9. Bordier. C. R. du Congrès de Berne 1902, S. 71.
10. Bernhardt. Zeitschr. f. Elektrotherapie u. Elektrodiagn. 1906.
11. Chanoz. Arch. d'Electr. médicale. „Loi de l'excitation".
12. Charpentier. Arch. de Physiol. 1896.
13. Chauveau. Congrès de Lyon. 1873.
14. Cremer. Pflügers Archiv. 37.
15—19. Cluzet.[2]) Annales d'Electrobiologie, Comptes Rendus de la Soc. de Biologie, Congrès de Berne. 1900, 1902, 1904, 1905, 1906.
20—27. Cybulski & Zanietowski. Pflügers Archiv 57 u. 59 (Nr. 26, 27), Krakauer Akademie 1891, 92, 93.
28. du-Bois-Reymond. Tierische Elektrizität. 1848.
29. — Vorlesung (1904).
30. — Société de physique. Berlin 1845.
31—38. Dubois. Annales, Archives d'Electricité, Archives de Physiologie, Arch. des Sciences physiques (1900, 1898, 1897, 1890, 1891).
39. Dubois. Über physiol. Wirkung der Kondensatorentladungen. Bern. Wyss. 88.
40. — Über den galvanischen Reiz. Zeitschr. f. Elektroth. 99.
41. — Discussion et communication du Congrès de Berne.
42. Gaiffe. Càtalogue 1870.
43. Gergens. Pflügers Arch. 13 S. 61.
44. Grützner. Pfl. Arch. 32.
45. Gärtner. Med. Jahrb. 1888.
46. Gärtner. Med. Jahrbücher. 82. 519.
47. Hoorweg. Zeitschr. f. Elektroth. 1902.

[1]) Die Nummern im Text, welche in Klammern sich befinden, entsprechen den Nummern der Werke; jede beigefügte Zahl bezeichnet die Seite.

[2]) Die wichtige Arbeit von Cluzet (Annales 1905) ist überall im Text mit Nr. 16 bezeichnet; diejenige der C. R. de la S. de Biologie mit Nr. 18.

48. Hoorweg, Pflügers Archiv Bd. 52.
49, 50, 51. — Bd. 53, 57, 71.
52, 53. — Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 51, 52.
54. — Archives Teyler 6.
55. — Archives Teyler 7.
56. — Traité électrotechnique.
57. — Zeitschr. f. Elektroth. 1899. II.
58. Joteyko. Zeitschr. f. E. VI. 04.
58B. — Annales d'Electrobiologie 1905/6.
59. Kurella. Zeitschr. f. E. 1901. II u. III.
60. Lapicque. Annales d'Electrobiol. 1905.
60B. Leduc. } C. Rendus du Congrès de
61. de Metz. } Berne (1902). Discussion. — et page 71.
62. Mann. D. Arch. f. klin. Med. 1889.
63. — Congrès de Berne 1902. C. Rendus.
64. — Berl. klin. Wochenschr. 1904.
65. — Elektrodiagnostik. Hölder. 1904.
66. — Berl. klin. Wochenschr. 1893.
67. — Centr. f. Nervenheilkunde 1897
68. Salomonson, 1902, 1906.
69. — Pflügers Archiv. 100.
70. — Ned. Tijdschrift voor Geneeskunde 1891, 1892, p. 886.
71. Stintzing. Deutsches Arch. 40.
72. Schnyder. Zeitschr. f. Elektroth. 99.
73. Sudnik. Ann. d'Electrobiologie 1906.
74. — C. R. du Congrès de Berne (1902).
75. — A. d'Electrobiologie 1902. V.
76. — Communications (1891, 1898).
77. Tiegel. Pfl. Arch. 14.
78. Tigerstedt. Stockh. Mitth. 882.
79. Volta. Siehe Nr. 28 S. 289 u. f.
80. Windscheid. D. Z. f. Nerv. 2.
81. Waller. Proceedings. London 99.
82. Weiss. Arch. ital. de Biologie 1901.
83. — A. it. d. Biol. 1903.
84. Zanietowski.
85. — 1894. Krakauer Akademie.
86. — 1895. Lemberger Congress.
87. Zanietowski, 1897. Wiener Akademie.
88. — 1897. Centr. für Physiol. XI.
89. — 1898/9. Wiener Kl. Rundschau.
90. — 1899. Zeitschr. f. Elektroth.
91. — 1900. Krakauer Congress.
92. — 1901. Zeitschr. f. El. Breslau.
93. — 1902. Gazeta lek. Warschau.
94. — 1902. Neurol. Centralblatt.
95. — 1902. Nowiny lek. Posen.
96. — 1902. „ „ „
97. — 1902. „ „ „
98. — 1901. Annales d'Electrobiologie.
99. — 1902. Wien. med. Presse.
100. — 1903. C. R. Congrès de Berne.
101. — 1903. „ „ „ „ „
102. — 1904. Zeitschr. f. Elektroth.
103. — 1905. „ „ „
104. — 1905. Annales d'Electrobiologie.
105. — 1905/6. Zeitschr. f. Elektroth.
106. — 1906. Annales d'Electrobiol.
107. — 1906. C. R. de la Soc. de Biologie.

Handbücher und Monographien.

108. Wiedemann. Physik. Praktikum. S. 476.
109. Pierson-Sperling. Elektrotherapie. S. 142.
110. Daniell. Physik. S. 729.
111. Hermann. Physiologie. S. 87.
112. Toby Cohn. Elektrodiagnostik.
113. Mader. Elektrodiagnostik.
114. Mann. Elektrodiagnostik (s. Nr. 65).
115. Maxwell. Treatise 1873.
116. Frankenhäuser. Die Leitung der Elektrizität 1898.
117. Ziehen u. Hoorweg. Elektrodiagn. Untersuch. (auch Mon. f. Psych. 1904. Bd. XV, Heft 6).
118. Boruttau. Die Elektrizität in der Med. u. Biol. 1906. Wiesbaden.

